



Nuno Miguel Dias de Oliveira

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

Estudo do comportamento térmico de um edifício utilizando o programa RCCTE-STE

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Doutor José Dias



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Dezembro 2011

Estudo do comportamento térmico de um edifício utilizando o programa RCCTE-STE.

Copyright © 2011 Nuno Miguel Dias de Oliveira

Faculdade de Ciências e Tecnologia,

Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

“O dia de hoje prepara o dia de amanhã... Hoje estamos em posição de prever e de calcular; amanhã sofreremos as consequências do nosso erro actual, ou recolheremos os frutos da nossa prudência de hoje.”

Georges Chevrot

Agradecimentos

Ao Professor Doutor José Dias gostaria de agradecer pela sua orientação científica, e pelo apoio na elaboração desta dissertação.

Aos meus amigos, pelo apoio e pela partilha de conhecimentos, discussões e opiniões que me ajudaram nesta importante etapa da minha vida académica.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais pelas opiniões e ajuda na elaboração e correcção da dissertação.

À Sofia, pela ajuda na correcção gramatical e pelo apoio e incentivo constante.

Resumo

As alterações climáticas fazem-se sentir cada vez mais em todo o mundo. Os edifícios são responsáveis pelo consumo de 40% da energia na União Europeia, o que obrigou à implementação de um sistema de certificação energética. Portugal é um país de extrema dependência das energias fósseis, sendo grande parte dessas energias usada para a climatização de edifícios. Foi definido um pacote de medidas para os vários sectores da energia, sendo que para o sector dos edifícios foi definido um programa de certificação energética de modo a informar e a melhorar o desempenho energético dos edifícios.

A presente dissertação analisa um edifício para que este seja o mais eficiente possível através da aplicação da regulamentação em vigor, e em função da potência necessária para o conforto térmico. Utilizou-se para isso o programa distribuído pelo INETI, o RCCTE-STE.

Numa primeira fase calcularam-se através deste programa as necessidades nominais de energia e as potências nominais de simulação que serviram de base para toda a dissertação.

Numa segunda fase, estudaram-se variáveis como a densidade de ocupação, de iluminação e de equipamento, que alteram as potências nominais de energia. Posteriormente também foram estudados outros factores, tais como a localização geográfica do edifício, a área e a orientação dos envidraçados.

Numa terceira fase foram seleccionados os aparelhos que fazem a climatização e a ventilação do edifício.

Sendo assim, obteve-se um projecto de um edifício de escritórios que utiliza o mínimo de recursos energéticos para a sua climatização. Foi também garantida a qualidade do ar interior e o conforto térmico do edifício.

Palavras-chave: RCCTE, eficiência energética, conforto térmico, qualidade do ar.

Abstract

Climate changes are being felt increasingly throughout the world. Buildings consume 40% of the energy in the European Union, which forced the implementation of an energy certification system. Portugal is a country of extreme dependence to fossil fuels, and much of this energy is used for heating and cooling buildings. A package of measures was defined for the various energy sectors, of which a program of energy certification was created in order to inform and improve the energy performance of buildings for this sector. This dissertation analyzes a building with the proposal of making it as efficient as possible by the application of the current regulation, and according to the power required for thermal comfort, using a program distributed by INETI, RCCTE-STE.

In the first phase calculations were made under the program requirements of nominal power and the nominal powers of simulation that served as basis for the entire paper. In a second phase, it was studied variables such as stocking density, lighting and equipment which alter the rated powers of energy. Later on other factors such as the thickness of insulation in several areas, the geographic location of the building, the area of glazing and its location have been investigated.

In a third phase the devices that make air conditioning and ventilation of the building have been selected.

Thus, a draft of an office building that uses minimal energy resources for its climate, and guarantees that indoor air quality and thermal comfort is obtained.

Key Word: RCCTE, energetic efficient, thermal comfort, quality of air.

Índice geral

Resumo.....	III
Abstract	IV
Índice geral.....	V
Índice de figuras	IX
Índice de gráficos	X
Índice de tabelas	XI
Acrónimos e termos utilizados	XII
Abreviaturas.....	XII
Simbologia.....	XII
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 Apresentação do problema e sua relevância.....	2
1.1.1 Introdução geral	2
1.1.2 Contexto europeu.....	3
1.1.3 Situação em Portugal	4
1.1.4 Evolução do consumo energético	5
1.1.5 Legislação aplicada.....	7
1.2 Objectivos e motivação	7
1.3 Metodologia	7
1.4 Organização da dissertação	8
Capítulo 2 – Conceitos teóricos da térmica de edifícios	9
2.1 Directiva europeia.....	10
2.1.1 Objectivos da Directiva 2002/91/CE	10
2.1.2 Aplicação da directiva.....	10
2.2 Nova directiva 2010/31/UE	10
2.3 Regulamentação térmica dos edifícios em Portugal	11
2.4 Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)	11
2.4.1 Os objectivos do SCE	12

2.4.2 Qualidade do ar interior e ventilação do espaço	12
2.4.3 Certificação e fiscalização.....	12
2.4.4 Certificado energético	13
2.4.5 Validade dos certificados	13
2.4.6 Classes de desempenho energético	14
2.5 Objectivos do RCCTE	15
2.5.1 Parâmetros fundamentais do RCCTE	16
2.5.2 Tipos de edificios abrangidos pelo RCCTE	16
2.6 Objectivos do RSECE	16
2.6.1 Tipos de edificios abrangidos pelo RSECE	16
2.7 Parâmetros fundamentais.....	17
2.7.1 Divisão climática do país	17
2.7.2 Coeficiente de transmissão térmica superficial	17
2.7.3 Pontes térmicas	18
2.7.4 Taxa de renovação de ar.....	18
2.7.5 Factores solares	18
2.8 Software utilizado para a simulação energética de edificios	19
Capítulo 3 – Caracterização do edificio em estudo	21
3.1 Introdução.....	22
3.2 Edifício de referência.....	22
3.2.1 Planta do edificio	23
3.2.2 Alçados Este e Oeste.....	24
3.2.3 Alçados Norte e Sul	24
3.3 Localização	24
3.3.1 Dados climáticos (Almada).....	24
3.4 Pormenores construtivos do edificio	25
3.4.1 Paredes	25
3.4.2 Cobertura.....	25
3.4.3 Pavimento.....	25

3.4.4 Pontes térmicas planas, nas paredes com pilares	26
3.4.5 Pontes térmicas lineares	26
3.4.6 Envidraçados	26
3.5 Pormenores de funcionamento do edifício	27
3.5.1 Densidade de ocupação	27
3.5.2 Densidade de iluminação	27
3.5.3 Densidade de equipamento	27
3.5.4 Ventilação	27
3.5.5 Temperaturas de referência	27
3.6 Verificação e cumprimento das normas do RCCTE.....	27
3.7 Resultados obtidos pela simulação no programa RCCTE-STE.....	28
Capítulo 4 – Caso de estudo	29
4.1 Estudo das alterações simuladas no programa RCCTE-STE.....	30
4.2Variação da densidade de ocupação.....	30
4.3 Variação da densidade de iluminação	31
4.4 Variação da densidade de equipamento	32
4.5 Influência da localização do edifício.....	33
4.6 Alteração do pé direito médio	35
4.7 A Influência da altitude e distância ao litoral.....	36
4.8 Alteração da orientação dos envidraçados	37
4.9 Alteração da área dos envidraçados	37
Capítulo 5 – Evolução psicrométrica	40
5.1 Evolução Psicrométrica.....	41
5.1.1 Situação de arrefecimento referente à estação de Verão	42
5.1.2 Situação de aquecimento referente à estação de Inverno	44
Capítulo 6 – Selecção do equipamento	48
6.1 Introdução.....	49
6.1.1 <i>Chiller</i>	49
6.1.2 UTA (Unidade de Tratamento de Ar).....	50

6.1.3 Humidificador.....	51
6.2 Insuflação/Exaustão	51
6.3 Condutas.....	54
6.3.1 Conduta principal	54
6.3.2 Conduta intermédia.....	54
6.3.3 Conduta final	55
6.3.4 Conduta de exaustão	55
6.3.5 Conduta principal de exaustão.....	55
Capítulo 7 - Conclusão.....	56
7.1 Conclusão	57
7.2 Perspectivas de trabalho futuro.....	58
Referências Bibliográficas	59
Anexos.....	62
Anexo I.....	63
Anexo II	82
Cálculo dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca	82
• Paredes	82
• Cobertura	82
• Pavimento	83
Cálculo dos coeficientes da transmissão térmica das pontes térmicas	83
• Planas.....	83
• Lineares.....	83
Cálculo dos Envidraçados	84
Anexo III	85
Diagrama Verão.....	85
Diagrama Inverno	86
Anexo IV	87
Anexo V	89

Índice de figuras

Figura 1 - Consumo de energia eléctrica	5
Figura 2 - Exemplo de um certificado energético	13
Figura 3 - Classificação energética.....	14
Figura 4 - Escalas utilizadas no cálculo da classificação energética	15
Figura 5 - Zonas climáticas de Inverno e Verão para Portugal Continental.....	17
Figura 6 - Diagrama de funcionamento do RCCTE-STE.....	19
Figura 7 - Planta do edifício	23
Figura 8 - Alçado Este e Oeste do edifício de referência	24
Figura 9 - Alçado Norte e Sul do edifício de referência.....	24
Figura 10 - Esquema ilustrativo da instalação	42
Figura 11 – Chiller escolhido	49
Figura 12 - Configuração da UTA e componentes.....	50
Figura 13 - Selecção da UTA	50
Figura 14 - Escolha do humidificador	51
Figura 15 Instalação de tubagem	52
Figura 16- Esquema de circulação de ar.....	52
Figura 17 - Exemplo de grelha do difusor (à esq.) e de exaustão (à dir.)	54

Índice de gráficos

Gráfico 1 - Consumo de energia primária, total e por tipo de fonte de energia	6
Gráfico 2 - Densidade de ocupação	30
Gráfico 3 - Densidade de iluminação	31
Gráfico 4 - IEE densidade de iluminação	32
Gráfico 5 - Densidade de equipamento	33
Gráfico 6 - Variação do pé direito	36
Gráfico 7 - Variação da área de envidraçados	38

Índice de tabelas

Tabela 1 - Validade dos certificados	14
Tabela 2 - Áreas do edifício de referência.....	22
Tabela 3 - Dados climáticos para o concelho de Almada.....	24
Tabela 4 – Resultados mais importantes obtidos pelo RCCTE-STE.....	28
Tabela 5 - Densidade de Ocupação	30
Tabela 6 - Densidade de iluminação.....	31
Tabela 7 - Densidade de equipamento.....	32
Tabela 8 - Variação da localização do edifício base.....	34
Tabela 10 - Variação do pé direito médio	35
Tabela 9 - Localizações dos edifícios regulamentares	35
Tabela 11 - Variação da altitude e distância ao litoral.....	36
Tabela 12 - Orientação dos envidraçados.....	37
Tabela 13 - Variação da área de envidraçados	38
Tabela 14 - Dados obtidos pelo programa RCCTE-STE.....	41
Tabela 15 - Dados do livro Carrier.....	43
Tabela 16 - Valores do calor total	43
Tabela 17 - Dados do livro Carrier.....	45
Tabela 18 - Valores do calor total	45

Acrónimos e termos utilizados

Abreviaturas

AC – Ar condicionado

AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado

CE – Comunidade Europeia

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia

DL – Decreto-Lei

GEE – Gases com efeito de estufa

IEE – Indicador de eficiência energética

INETI – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

PTL – Pontes térmicas lineares

PTP – Pontes térmicas planas

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética

STE – Simulação Térmica de Edifícios

UE – União Europeia

Simbologia

ktep – Quilotonelada equivalente de petróleo

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt hora

Tep – Tonelada equivalente de petróleo

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Apresentação do problema e sua relevância

1.1.1 Introdução geral

Na antiguidade, o Homem teve necessidade de se abrigar por uma questão de segurança e comodidade. As habitações foram desde sempre um lugar muito importante para as famílias se protegerem dos elementos da natureza. O Homem foi adaptando e utilizando os materiais que encontrava no local para construir a sua habitação, e com o passar do tempo foi aperfeiçoando a técnica construtiva com a finalidade de aumentar o seu conforto habitacional. A arquitectura dos edifícios esteve durante muito tempo adaptada ao clima local quer na forma de construção, quer nos materiais utilizados. Como se pode verificar em Portugal, a construção no Norte é muito diferente da construção no Sul. Recentemente essa tendência alterou-se devido ao aparecimento de novos materiais, à maior facilidade de deslocação e transporte, e começou a construir-se de uma forma mais estandardizada em todo o país, sendo uma construção mais económica e fácil de se executar, não tendo em conta as características locais [1].

As pessoas passam cerca de 90% da sua vida em espaços interiores, como as suas habitações, o seu local de trabalho, meios de transportes ou mesmo em espaços comerciais. Assim, torna-se importante estudar os melhoramentos que se devem introduzir nesses espaços interiores de forma a proporcionar mais conforto e melhor qualidade de vida [2]. O aumento das exigências de forma a melhorar a qualidade de vida levou a um aumento exponencial do consumo de recursos energéticos, e com isso uma grande preocupação começou a debater-se devido ao agravamento do aquecimento global e da previsão do esgotamento dos recursos naturais.

Actualmente, têm vindo a alterar-se os consumos energéticos de modo a que sejam mais moderados sem serem prejudiciais para o meio ambiente, com a aplicação de novas tecnologias e com a constante inovação. Todas estas medidas permitem que os edifícios de habitação e de serviços contribuam para um melhor meio ambiente.

Devido à preocupação anteriormente descrita, foram emitidas directivas que vêm contribuir para melhorar a eficiência energética. Conforme mencionado na Directiva 91 de 2002 da Comunidade Europeia (CE), “a maior eficiência energética constitui uma parte importante do pacote de políticas e de medidas necessárias ao cumprimento do Protocolo de Quioto” [3]. Para que se cumpram as metas propostas, terão que ser alterados os gastos excessivos de energia na climatização dos edifícios da nossa sociedade.

Como é abordado pela DECO, “A Eficiência Energética é a primeira e mais importante fonte renovável de que dispomos actualmente” [4]. Assim, será importante a revisão e alteração dos grandes edifícios, bem como o correcto dimensionamento dos seus aparelhos de ventilação e de refrigeração. Existem várias formas construtivas que ajudam a evitar perdas de energia pela envolvente exterior, bem como a optimizar ganhos solares através da radiação solar pelos envidraçados.

“Uma utilização prudente, racional e eficiente da energia deverá abranger, nomeadamente, os produtos petrolíferos, o gás natural e os combustíveis sólidos, que constituem fontes de energia essenciais e, simultaneamente, as principais fontes de emissão de dióxido de carbono” [5]. Sendo assim, reduzir as emissões de CO₂ é uma das principais metas dos vários países da UE.

Os edifícios representam 40% do consumo de energia total da UE. Por conseguinte, a redução do consumo de energia e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no sector dos edifícios, constituem medidas importantes necessárias para reduzir a dependência energética da UE e as emissões de CO₂ [5].

“As emissões de GEE já fizeram aumentar 0,6°C a temperatura do globo. Se nada se fizer, haverá um aumento de 1,4 a 5,8°C até ao final do século” [6].

Nos edifícios em Portugal, a utilização de energia tem vindo a crescer de forma significativa nas últimas décadas. Foram tomadas medidas para a certificação energética de edifícios, como o SCE, aplicando os regulamentos do RSECE e RCCTE.

De forma a cumprir-se o acordo estabelecido pelos países da UE, Portugal recorre à classificação da eficiência energética em classes energéticas, sendo essa classificação obrigatória para todos os edifícios sujeitos a qualquer alteração de propriedade. Nos edifícios novos ou nos que sofram remodelações superiores a 25%, é obrigatório o cumprimento da regulamentação.

1.1.2 Contexto europeu

O clima a nível Europeu está a aquecer. Com as crises petrolíferas dos anos 70 do século XX, introduziu-se regulamentação no sentido de reduzir o consumo energético na maioria dos países europeus. A Comissão Europeia promulgou medidas de redução do consumo energético, em particular em empresas e em edifícios.

“A poupança de energia é a forma mais imediata e economicamente eficiente de a UE enfrentar os grandes desafios energéticos em matéria de sustentabilidade e segurança do aprovisionamento e competitividade, conforme o estabelecido nos objectivos estratégicos da política energética para a Europa” [7].

A estratégia europeia descrita no Livro Verde vem “limitar o futuro aumento das temperaturas globais ao objectivo máximo aprovado de 2 graus acima dos valores pré-industriais, as emissões globais de GEE devem atingir um cume até 2025 no máximo, e sofrer depois uma redução de pelo menos 15%, mas podendo ser de 50% em comparação com os níveis de 1990” [6]. Este enorme desafio significa que é agora que a Europa deve actuar, sobretudo no que respeita à eficiência energética e energias renováveis.

Existe uma necessidade de aumentar a eficiência energética como parte integrante dos objectivos “20-20-20” para 2020, que consiste numa poupança de 20% no consumo de energia primária da UE, um objectivo vinculativo de redução de 20% das emissões de GEE e um objectivo de 20% de energias renováveis até 2020 [7].

Uma frase que descreve a política para combater as alterações climáticas na UE é “fazer mais com menos”, o que implica fazer investimentos rentáveis de modo a reduzir o desperdício de energia, aumentando assim a qualidade de vida de maneira a não sacrificar o conforto existente nos dias de hoje [6].

1.1.3 Situação em Portugal

A situação de Portugal no que respeita ao consumo energético está na dependência das energias fósseis. Para o aquecimento a nível nacional houve um aumento crescente do consumo da energia doméstica, tornando-se necessário equacionar o uso da energia solar [8].

A construção mais comum e mais económica tem como consequência a existência de perdas térmicas muito elevadas, e assim um consumo maior de energia. Pelo tratado de Quioto, Portugal vê-se obrigado a obedecer a regras, nomeadamente no que se refere às emissões de dióxido de carbono, o que obriga a ter em atenção a qualidade das novas edificações.

Hoje em dia, mais do que nunca, as condições climáticas têm vindo a alterar-se. Temos assim Verões e Invernos mais rigorosos, em que as amplitudes térmicas são cada vez maiores e este facto leva a que os consumos energéticos disparem e sejam muito elevados, tanto no aquecimento como no arrefecimento.

Utilizaram-se, durante muitos anos, as lareiras como forma de aquecimento mais comum de uma casa. Contudo, a utilização dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento, e de ar condicionado, têm vindo a aumentar muito devido à facilidade de instalação, manutenção, trabalho de funcionamento e ao consumo directo baixo. No entanto, se se pensar no ambiente e na forma de produção da electricidade, reparamos que não é economicamente rentável, nem para o ambiente nem para a saúde.

Cada vez mais os processos construtivos devem ter em atenção a necessidade de diminuir os consumos energéticos no aquecimento e no arrefecimento. A aplicação de uma construção com sistemas passivos e sistemas activos pode conduzir a poupanças significativas. A orientação dos edifícios é muito importante para que se consiga obter ganhos térmicos devido à envolvente exterior e envidraçados, de modo a utilizar a energia solar que é abundante no nosso país.

Como se pode verificar no gráfico da figura 1, o consumo doméstico de energia eléctrica nos sectores de serviços e residenciais é uma grande fatia no valor total do consumo em Portugal. Este facto agravou-se tanto no sector doméstico como no de serviços, em grande parte devido a maiores exigências em termos de climatização dos espaços interiores [8].

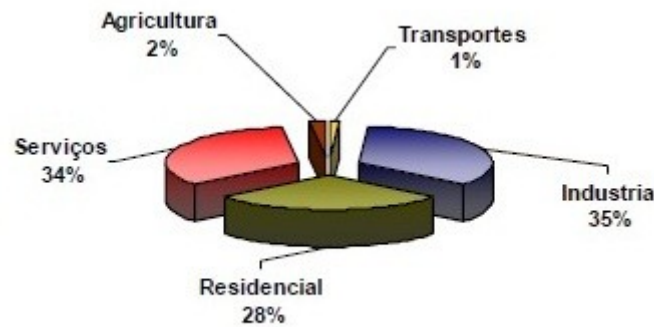


Figura 1 - Consumo de energia eléctrica

O conforto no interior de um edifício depende não só da temperatura interior, como também da humidade relativa. Assim, na fase de projecto de um edifício, deve ter-se em atenção a utilização que vai ser dada ao mesmo.

Portugal é um país com escassos recursos energéticos próprios, nomeadamente aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (como o petróleo, o carvão e o gás natural). Tal situação de escassez conduz a uma elevada dependência energética do exterior (83,3% em 2008), nomeadamente das importações de fontes primárias de origem fóssil. Importa assim aumentar a contribuição das energias renováveis, tais como as energias hídrica, eólica, solar e geotérmica, bem como a utilização de biogás, lenhas e resíduos [9].

Com a crise que Portugal hoje enfrenta, não existe por parte das pessoas maneira de conseguir tomar medidas para a alteração pretendida por parte do Governo. As alterações que são por vezes necessárias para que se cumpram os requisitos mínimos regulamentares, não são uma das primeiras prioridades das famílias portuguesas. A ideia de enfrentar a problemática do aumento exponencial de CO₂ libertado para a atmosfera poderá, portanto, ser utópica, e provavelmente não se conseguirá alcançar nos próximos anos.

1.1.4 Evolução do consumo energético

Está a aumentar a procura global de energia. Prevê-se que a procura energética mundial aumente cerca de 60% até 2030, e consequentemente as emissões de CO₂. O consumo global de petróleo aumentou 20% desde 1994, e prevê-se que a procura global de petróleo cresça 1,6% ao ano [6]. Se nada se fizer, este aumento de procura global de energia pode ser catastrófico para a Humanidade, podendo até, num caso mais extremo, ocorrer alterações climáticas de certa forma irreversíveis.

Os edifícios têm impacto no consumo de energia a longo prazo. Uma vez que a aplicação de sistemas alternativos de fornecimento de energia não é em geral aproveitada em todo o seu potencial, deve ter-se em conta sistemas alternativos de fornecimento de energia para os novos edifícios. Nos últimos anos têm vindo a aumentar o número de aparelhos de AC nos países europeus. Este facto cria

importantes dificuldades nas horas de ponta, devido a um excessivo aumento de potência necessária para o seu funcionamento. Deverá ser dada prioridade a estratégias que contribuam para melhorar o desempenho térmico dos edifícios durante o Verão. Para tal, deverão privilegiar-se medidas que evitem o sobreaquecimento, tais como a protecção solar, o aumento da inércia térmica do edifício, e o desenvolvimento e aplicação de técnicas de arrefecimento passivo, principalmente as que melhoram a qualidade do clima interior e o micro clima em torno dos edifícios. A fim de melhorar o desempenho energético dos edifícios, tem que se ter em conta as condições climáticas e locais, o ambiente interior e a rentabilidade económica [5].

Como descrito numa comunicação da Comissão Europeia de Bruxelas, “a utilização de energia em edifícios residenciais e comerciais é responsável por cerca de 40% do consumo total de energia final da EU e por 36% do total das emissões de CO₂ da EU. O potencial de poupança de energia com uma boa relação custo-eficácia até 2020 é significativo: é viável uma utilização de menos 30% de energia neste sector, o que corresponde a uma redução de 11% na utilização de energia final na EU. Contudo, a utilização de energia neste sector continua a aumentar” [7]. Assim se pode verificar a urgência de serem alteradas as formas de construção dos novos edifícios, e a obrigatoriedade da aplicação dos regulamentos em vigor.

O gráfico 1 refere-se aos consumos de energia primária em Portugal. Pode observar-se que começou a utilizar-se mais o gás natural e as energias renováveis, em detrimento do petróleo.

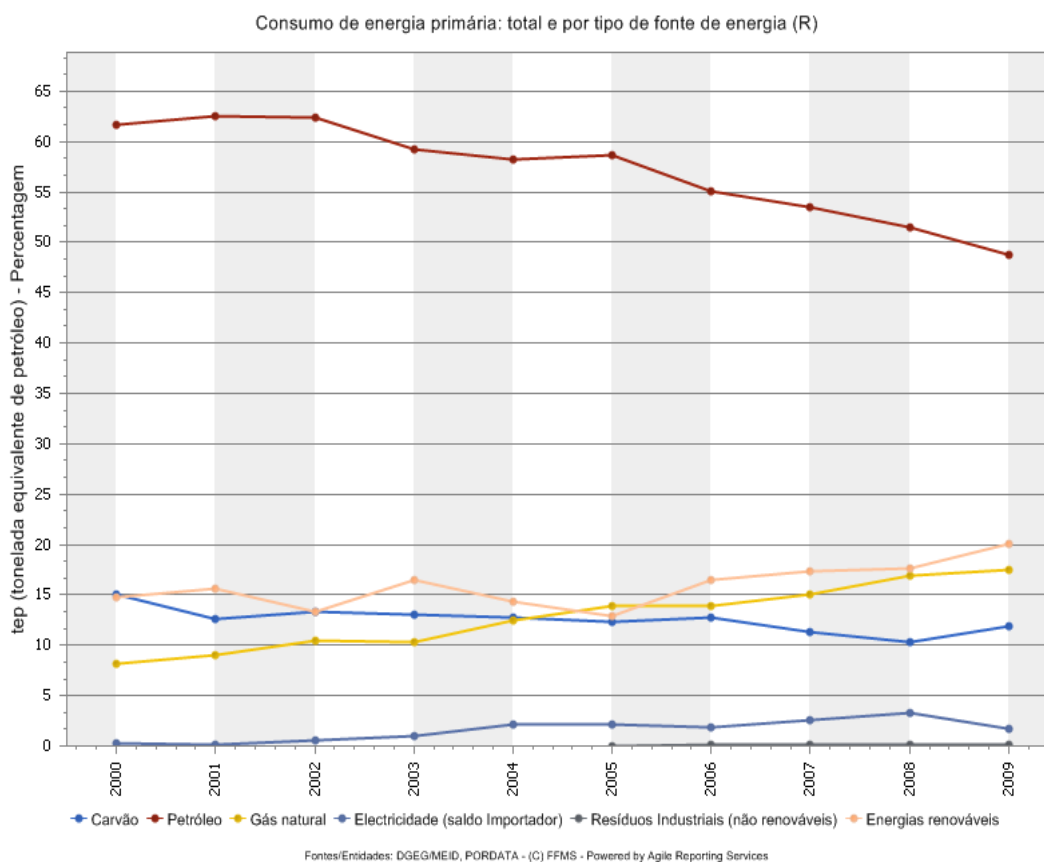


Gráfico 1 - Consumo de energia primária, total e por tipo de fonte de energia

Uma nova abordagem deve ser feita de maneira a aproveitar a energia solar do ponto de vista da construção do edifício, ou seja, do uso passivo da energia solar [8].

1.1.5 Legislação aplicada

A regulamentação portuguesa visa um melhoramento das habitações construídas e uma obrigatoriedade nos edifícios a serem construídos, de forma a combater os excessivos gastos energéticos verificados nos últimos anos.

Antes de 1990 não existiam requisitos térmicos nos edifícios. Em 1990 foi introduzido o RCCTE pelo DL n° 40/1990. No ano de 1998 foi introduzido o RSECE pelo DL n° 119/1998. Em 2006, Portugal transpôs parcialmente para o DL n°78/2006 a directiva europeia 2002/91/CE, e foram feitas também alterações a nível dos DL referentes aos RSECE e RCCTE (DL n°79/2006 e n°80/2006). Recentemente, foi aprovada uma nova directiva 2010/31/UE, que vem reformular a directiva europeia 2002/91/CE, mas que ainda não foi transposta para a legislação portuguesa.

1.2 Objectivos e motivação

O objectivo deste estudo é implementar um sistema de climatização para garantir o conforto interior, recorrendo a regras e normas do RCCTE e RSECE.

De acordo com o RCCTE, tem que se ter inicialmente os requisitos mínimos, para assim se determinar a classe energética do edifício. O estudo visa otimizar as perdas de energia do edifício, efectuando alterações a nível da estrutura das paredes, da incidência solar, da área de envidraçados, e das perdas de energia por pontes lineares.

Podem assim encontrar-se soluções para maximizar o conforto térmico do mesmo, e minimizar os gastos de energia desde a sua construção (custos iniciais) até à sua utilização (consumos).

1.3 Metodologia

Para se atingir o objectivo proposto, foi pensado e desenhado um edifício de modo a servir de base de estudo para a dissertação em curso. Foram feitos desenhos das plantas do edifício e foram definidas todas as dimensões necessárias para o cálculo das áreas e para o preenchimento das folhas de cálculo do RCCTE.

Com o auxílio do programa RCCTE-STE são calculadas as potências nominais de simulação que vão servir de referência e de comparação em toda a dissertação.

Executaram-se simulações no programa RCCTE-STE para o edifício em estudo, de forma a ser analisada a densidade de ocupação, densidade de iluminação, a densidade de equipamento. Posteriormente alteraram-se alguns parâmetros estruturais, fazendo variar o pé direito médio, a área de envidraçados, a localização dos envidraçados e a própria localização geográfica do edifício.

Por fim, procedeu-se à escolha de um equipamento de ventilação e climatização do edifício, de maneira a otimizar os gastos de energia, criando assim um edifício mais económico e mais eficiente.

1.4 Organização da dissertação

A estrutura da dissertação assenta em cinco capítulos.

No capítulo 1 foi retratada a problemática energética nas sociedades, no Mundo e mais propriamente em Portugal.

No capítulo 2 foram descritos os regulamentos e as normas que serviram de base para analisar o edifício em estudo, e foram também expostas as áreas que vão ser estudadas.

No capítulo 3 foi definido o edifício de referência e feita a descrição de toda a envolvente, de maneira a ser usado nesta dissertação.

No capítulo 4 foram desenvolvidos os vários casos de estudo, de forma a analisarem-se as potências de simulação com o auxílio do programa RCCTE-STE.

No capítulo 5 foi calculado o caudal de ar recirculado e desenhadas as evoluções psicrométricas no edifício de referência.

No capítulo 6 foram escolhidos os vários equipamentos para a climatização do edifício de referência.

No capítulo 7 foram descritas as várias conclusões da dissertação, bem como propostas para futuras dissertações.

Capítulo 2 – Conceitos teóricos da térmica de edifícios

2.1 Directiva europeia

A Directiva 2002/91/CE do Parlamento do Concelho Europeu estabelece medidas para melhorar o desempenho energético dos edifícios, de maneira a satisfazer o cumprimento do Protocolo de Quioto. Também visa influenciar o abastecimento energético em segurança a médio e a longo prazo. A eficiência energética dos edifícios começa a ter alguns benefícios com base na metodologia aplicada, tendo em conta vários factores, como as condições climáticas, a localização, e a qualidade do ambiente interior, não descurando o isolamento térmico e outros factores com influência crescente, como as instalações de aquecimento e AC, a aplicação de fontes de energia renovável e a concepção dos próprios edifícios [3].

2.1.1 Objectivos da Directiva 2002/91/CE

O objectivo da presente directiva relativa ao desempenho energético de edifícios estabelece os seguintes requisitos [3]:

- Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação;
- Certificação energética dos edifícios;
- Inspecção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos.

2.1.2 Aplicação da directiva

A directiva 2002/91/CE, directiva comunitária sobre o desempenho energético dos edifícios, foi aprovada em 16 de Dezembro 2002. Entrou em vigor a partir de 4 de Janeiro de 2003, sendo transposta pelos 25 estados membros até 4 de Janeiro de 2006.

Com esta directiva, os estados membros asseguram não só que os edifícios novos cumpram os requisitos mínimos de desempenho energético, como também que na reabilitação dos edifícios existentes com uma área útil total superior a 1000 m² o seu desempenho energético seja obrigatoriamente melhorado.

Pela aplicação da directiva, são necessárias as inspecções periódicas em caldeiras e aparelhos de ar condicionados.

2.2 Nova directiva 2010/31/UE

Em 19 de Maio de 2010 foi aprovada uma nova directiva (reformulação) relativa ao desempenho energético dos edifícios, entrando em vigor em 18 de Junho de 2010. Esta directiva vem

de uma forma mais clara exigir os mesmos objectivos da directiva anterior. Um dos artigos desta nova directiva define que todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia até 31 de Dezembro de 2020. A avaliação dos requisitos dos edifícios será feita por peritos qualificados, sendo também necessário a inspecção periódica dos aparelhos de climatização e de AC. Ainda não existe uma transposição nacional relativa a esta nova directiva, no entanto muitas das alterações já estão subentendidas na regulamentação dos DL em vigor actualmente.

O desempenho energético dos edifícios deverá ser calculado com base na metodologia que poderá ser diferenciada a nível nacional e regional. Esta metodologia abrange, para além das características térmicas, outros factores com influência crescente, como as instalações de aquecimento e ar condicionado, a aplicação de energia proveniente de fontes renováveis, os sistemas de aquecimento e arrefecimento passivo, os sombreamentos, a qualidade do ar interior, a luz natural adequada e a concepção dos próprios edifícios. A metodologia para o cálculo do desempenho energético deverá abranger o desempenho energético do edifício ao longo de todo o ano, e não apenas durante a estação do ano em que o aquecimento é necessário. Essa metodologia deverá ter em conta as normas europeias em vigor [5].

2.3 Regulamentação térmica dos edifícios em Portugal

A Directiva 2002/91/CE obrigou a implementação de um sistema de certificação energética que informa os cidadãos sobre a qualidade térmica dos edifícios aquando a sua construção [10]. A regulamentação dos edifícios em Portugal é feita a partir de três DL, respectivamente [11]:

- Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE) e da Qualidade do Ar Interior (QAI) nos Edifícios, SCE, que é o DL nº 78/2006, de 4 de Abril, que define regras e as metodologias para a verificação da aplicação efectiva destes regulamentos aos edifícios novos e já construídos assim como direitos e deveres dos proprietários ou promotores, coimas em caso de incumprimento e outros aspectos de natureza legal;
- Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios, RSECE, que é o DL nº 79/2006, de 4 de Abril, que aborda tecnicamente os sistemas energéticos de climatização de edifícios;
- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, RCCTE, que é o DL nº 80/2006, de 4 de Abril, que trata de aspectos técnicos da componente térmica relacionada com a solução construtiva.

2.4 Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)

O sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) é assegurado pelo Estado para uma melhoria do desempenho energético e da qualidade do ar interior dos edifícios [10].

Esta regulamentação tem como finalidade “informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios” novos. Nos edifícios existentes, a regulamentação proporciona informar “sobre as medidas de melhoria e desempenho”, de maneira a que o proprietário possa melhorar a eficiência energética do edifício [10].

2.4.1 Os objectivos do SCE

Os objectivos do SCE estão descritos em três tópicos:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energia renovável e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar medidas de correcção e melhoramento para aplicar aos edifícios e sistemas energéticos.

2.4.2 Qualidade do ar interior e ventilação do espaço

A ventilação serve para melhorar a qualidade do ar interior e regular a temperatura no interior dos edifícios. De forma a melhorar a qualidade do ar dentro de um determinado espaço, especialmente quando este se destina à ocupação humana, é essencial recorrer à ventilação. Assim, é garantida a qualidade do ar, não só em termos da sua viciação resultante do ar respirado, como também combater o desenvolvimento de microrganismos como fungos e bactérias, que podem levar os ocupantes de ambientes climatizados a contraírem doenças respiratórias, infecciosas ou alérgicas. Um dos maiores perigos de contaminação do ar interior é pela presença da *Legionella Pneumophila*, bactéria que habita principalmente em condutas de ar condicionado, bebedouros e torres de refrigeração de água.

A ventilação é feita a partir da renovação do ar interior viciado através da introdução de ar exterior filtrado. Existem dois tipos de ventilação: a ventilação forçada, que obriga à existência de meios mecânicos para deslocar o ar; e a ventilação natural, em que a circulação do ar é feita de forma natural por força do vento ou por efeitos térmicos. Geralmente, a ventilação nos edifícios de serviços é feita através de condutas que transportam o ar viciado para fora do edifício e outras que recolocam o ar novo climatizado no edifício. A ventilação mais comum nos edifícios de habitação é feita pela abertura das janelas ou por grelhas instaladas nas fachadas dos edifícios [2,11].

2.4.3 Certificação e fiscalização

A certificação energética pretende informar sobre os consumos e custos que o consumidor poderá vir a ter com o edifício. A emissão desses certificados é feita por peritos qualificados que são individualmente responsáveis pela condução do processo de certificação dos edifícios. Estes podem emitir uma declaração de conformidade regulamentar (DCR) necessária para obtenção do pedido de licença de construção, e um certificado energético da qualidade do ar interior necessário para a obtenção do pedido de licença de utilização ou, no caso de edifícios existentes, para venda ou aluguer.

A ADENE fiscaliza o trabalho de certificação do perito qualificado, com base em critérios de amostragem a aprovar pelas entidades responsáveis para supervisão do SCE.

2.4.4 Certificado energético

A aplicação dos regulamentos aos edifícios culmina num certificado energético (figura 2), que informa o utilizador comum de como pode melhorar a sua habitação ou estabelecimento, para que seja mais eficiente energeticamente.



Figura 2 - Exemplo de um certificado energético

Este certificado é assim uma grande ferramenta como factor de comparação entre edifícios, podendo ter-se uma noção das despesas energéticas para que se mantenham as condições de habitabilidade, conforto térmico e qualidade do ar interior do edifício.

2.4.5 Validade dos certificados

O prazo de validade dos certificados para os edifícios que estão sujeitos ao RCCTE é de 10 anos. Os edifícios sujeitos ao RSECE requerem auditorias e/ou inspeções periódicas, sendo que os prazos de validade dos mesmos são diferentes consoante os vários casos.

Na tabela 1 estão resumidos os vários prazos de validade dos certificados.

Tabela 1 - Validade dos certificados

Tipo de edifícios	Regulamentação Aplicável	Validade dos certificados das auditorias QAI	Validade dos certificados das auditorias energéticas
Edifícios de habitação	RCCTE	10 anos	
Edifício de serviço, ou locais que funcionem como estabelecimentos de ensino, formação, desportivos, centros de lazer, creches, infantários ou instituições, estabelecimentos de permanência de crianças, idosos, lares equiparados, hospitais, clínicas e similares.	RSECE	2 anos	6 anos
Edifícios de serviço ou locais que alberguem actividades comerciais, de turismo, de transportes, de actividades culturais, escritórios ou similares	RSECE	3 anos	6 anos
Outros edifícios de serviço	RSECE	6 anos	6 anos

2.4.6 Classes de desempenho energético

A classificação dos edifícios está de acordo com a seguinte escala: A+ (para um edifício com melhor desempenho energético), A, B, B-, C, D, E, F e G, (que corresponde à pior classificação). A classificação para os edifícios de serviço é a mesma, mas calculada de maneira diferente. Para os edifícios novos a classificação fica reduzida entre as primeiras três classes, não podendo ficar abaixo de B-. Na Figura 3 está um exemplo da escala utilizada.

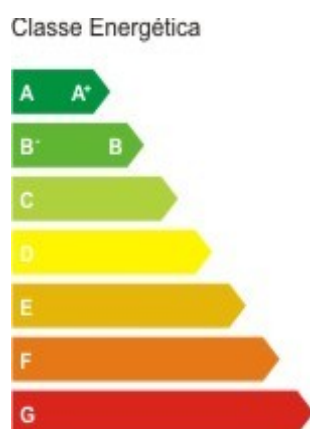


Figura 3 - Classificação energética

Existem duas metodologias de cálculo diferente, para um edifício de habitação ou para um edifício de serviços.

A Classificação Energética de edifícios de habitação (com e sem sistemas de climatização) e pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização ou com sistemas de climatização inferior a 25 kW de potência instalada, é calculada a partir da expressão $R = N_{tc}/N_t$, em que “ N_{tc} ” representa as necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e águas quentes e o “ N_t ” o valor limite destas [16]. A Classificação Energética de edifícios de serviços com sistemas de climatização superior ou igual a 25 kW de potência instalada é calculada a partir dos valores do $IEE_{nom.}$, $IEE_{ref.}$ e do valor de um parâmetro S , em que:

$IEE_{nom.}$ - Indicador de eficiência energética nominal (valor obtido por simulação dinâmica com base nos perfis nominais definidos no anexo XV do RSECE);

$IEE_{ref.}$ - Indicador de eficiência energética de referência (valor indicado no anexo XI do RSECE de acordo com a tipologia, ou por ponderação de tipologias).

S - Soma dos consumos específicos para aquecimento, arrefecimento e iluminação, conforme determinados na simulação dinâmica que deu origem aos valores limites de referência para edifícios novos que constam no regulamento. O valor de S não é determinado pelo Perito Qualificado, é um valor de referência que se encontra tabelado [13].

Na figura 4, estão representadas as escalas utilizadas no cálculo da classificação energética dos dois tipos de edifícios.

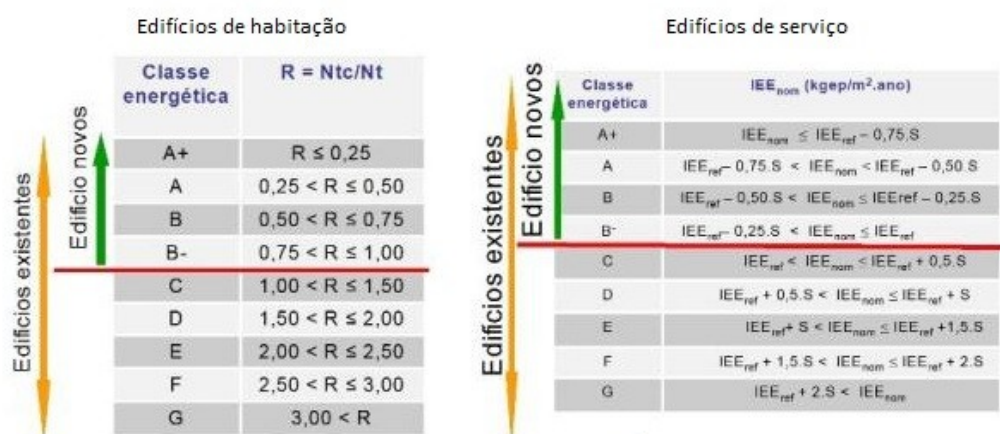


Figura 4 - Escalas utilizadas no cálculo da classificação energética

2.5 Objectivos do RCCTE

O regulamento designado por RCCTE faz parte do DL nº 80/2006 de 4 de Abril. Este regulamento vem estabelecer requisitos de qualidade para edifícios novos, de habitação e serviços. As regras estabelecidas por este regulamento visam o comportamento dos edifícios nos períodos de aquecimento e arrefecimento, tendo em conta factores como os ganhos solares e as perdas térmicas pelos envidraçados, planos de alvenaria, e pilares. Assim, pode ser exigido um conforto térmico superior com um maior aproveitamento da energia usada para o aquecimento e arrefecimento [14].

2.5.1 Parâmetros fundamentais do RCCTE

Os parâmetros fundamentais para o RCCTE são [14]:

- A divisão climática do país, e os dados climáticos para Portugal continental e regiões autónomas;
- Os parâmetros de caracterização térmica, como o coeficiente de transmissão térmica superficial, as pontes térmicas, a taxa de renovação do ar, a inércia térmica, e os factores solares.

2.5.2 Tipos de edifícios abrangidos pelo RCCTE

O RCCTE aplica-se[14]:

- A todos os edifícios de habitação;
- Edifícios de serviços com uma área útil inferior ou igual a 1000m² e sem sistemas mecânicos de climatização ou com sistemas de climatização de potência inferior ou igual a 25 kW;
 - Grandes intervenções de remodelação ou de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias.

2.6 Objectivos do RSECE

O regulamento do RSECE está descrito no DL nº 79/2006 de 4 de Abril, vem ao encontro do RCCTE, mas aplica-se para os edifícios de maior dimensão. O regulamento impõe regras que visam o melhoramento do conforto térmico, a eficiência dos sistemas de climatização e também impõe manter uma regular qualidade do ar interior. Pode-se assim certificar e classificar o edifício de acordo com o seu desempenho energético [15].

2.6.1 Tipos de edifícios abrangidos pelo RSECE

Os edifícios que são abrangidos pelo RSECE são [15]:

- Edifícios de habitação ou de serviços que tenham um sistema de climatização com uma potência superior a 25 kW;
- Edifícios de serviço com uma área útil superior a 1000m²;
- Quando o sistema de climatização for superior a 25 kW para qualquer tipo de edifício.

2.7 Parâmetros fundamentais

2.7.1 Divisão climática do país

O país encontra-se dividido em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2, V3), que estão representadas na figura 5.

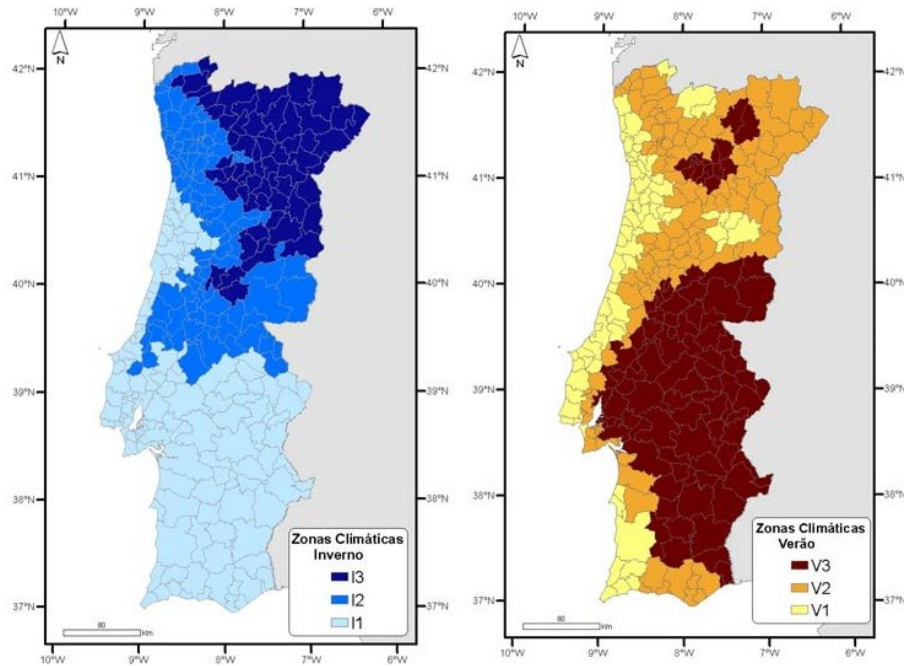


Figura 5 - Zonas climáticas de Inverno e Verão para Portugal Continental

Os dados climáticos estão distribuídos por concelhos e apresentados no quadro III.1 do DL n°80/2006 [14], onde se podem retirar os seguintes dados:

- O concelho em que se insere o edifício;
- A zona climática de verão e de inverno;
- O nº de graus dias;
- A duração da estação de aquecimento;
- A temperatura extrema do projecto;
- A amplitude térmica.

As condições interiores de referência pelo novo regulamento passaram a ser 20°C para o Inverno e 25°C para o Verão.

2.7.2 Coeficiente de transmissão térmica superficial

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica superficial é calculado pelo inverso da soma das resistências.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (1)$$

em que:

R_j – Resistência térmica da camada j ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$);

R_{si} – Resistência térmica superficial interior ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$);

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$).

Os valores de R_j , R_{si} , R_{se} podem ser retirados do livro ITE 50, para os vários elementos [16].

2.7.3 Pontes térmicas

As pontes térmicas podem dividir-se em pontes térmicas lineares e pontes térmicas planas. Estas são contabilizadas individualmente através de coeficiente de transmissão linear (Ψ). No DL nº 80/2006 de 4 de Abril estão apresentados vários exemplos a partir das tabelas IV.1 até à tabela IV.3.

Nos casos das pontes térmicas lineares que não se encontram no regulamento pode utilizar-se um valor convencional $\Psi=0,5 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$.

2.7.4 Taxa de renovação de ar

A taxa de renovação de ar pode ser definida de pelos DL nº79/2006, RSECE e pelo DL nº 80/2006 RCCTE. Segundo o RCCTE a taxa de renovação mínima de ar necessária é de $R_{ph}=0,6 \text{ h}^{-1}$, quer seja através de ventilação natural ou mecânica.

Quando existe uma instalação de ventilação mecânica, a taxa de renovação de ar tem de ir ao encontro do apresentado no anexo VI do DL nº 79/2006, onde estão apresentados por tipo de actividade os caudais mínimos de ar novo obrigatórios.

2.7.5 Factores solares

Para o cálculo dos ganhos solares dos vãos envidraçados exteriores durante a estação de Inverno e Verão são necessários definir os diversos factores solares. A fracção da radiação solar incidente que entra para o interior do edifício sob forma de radiação visível ou térmica, é definida por factor solar. Este pode variar conforme a estação devido à variação dos ângulos de incidência da radiação solar. No DL nº 80/2006 são considerados ganhos solares em todas as direcções e os factores solares apresentam uma especificação mais elaborada, considerando as variantes dos vãos envidraçados. Para cada vão envidraçado os factores solares podem variar com:

- Factor de obstrução (F_s), que contabiliza o sombreamento causado por vários obstáculos como vegetação, outros edifícios, parte do mesmo edifício, palas, varandas.

Este factor pode ser calculado pela seguinte fórmula: $F_s = F_h \times F_o \times F_f$.

- Fracção envidraçada (F_g), que traduz a redução da transmissão da energia solar associada a existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado. Este factor de correcção encontra-se no quadro IV.5 do DL n° 80/2006;
- Factor de correcção de selectividade angular dos envidraçados (F_w), traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar directa. Este factor de correcção encontra-se no quadro V.3 do DL n° 80/2006;
- Factor solar do vão envidraçado (g_{\perp}) que define a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado em relação à radiação solar incidente na direcção normal ao envidraçado. Este factor de correcção encontra-se no quadro V.4 do DL n° 80/2006.

2.8 Software utilizado para a simulação energética de edifícios

Este software utilizado é distribuído pelo INETI e chama-se RCCTE-STE. O programa baseia-se numa simulação horária anual (oito mil setecentas e sessenta horas) de um espaço monozona. O RCCTE-STE calcula as necessidades de aquecimento e arrefecimento necessárias para manter o espaço à temperatura de referência.

O modelo do programa baseia-se num circuito de analogia reo-eléctrica (resistências e capacitâncias) de acordo com o diagrama da figura 6.

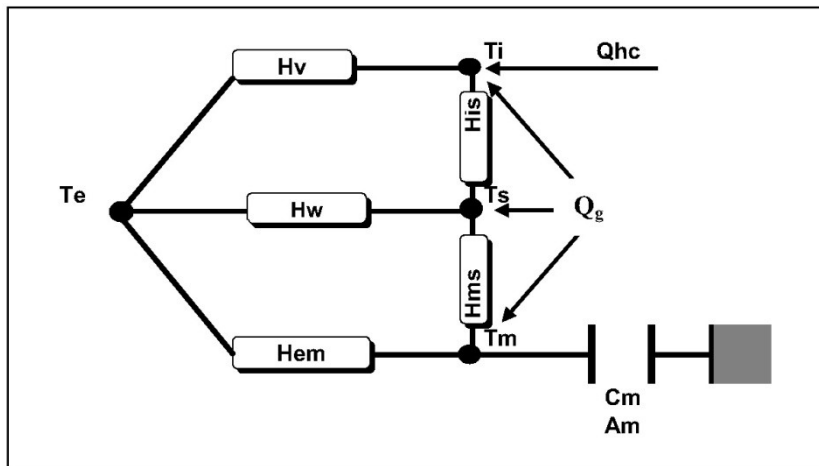


Figura 6 - Diagrama de funcionamento do RCCTE-STE

Temperaturas:

Ti – temperaturas de referência para o Inverno e para o Verão

Te – temperatura do exterior

Ts – temperaturas médias nas superfícies interiores da envolvente

Tm – temperatura média da massa térmica dos elementos do espaço

Resistências:

H_v – trocas de ar

H_w – condução do calor através dos vãos envidraçados

H_{em} – condução do calor através da envolvente opaca

H_{ms} – transferência de calor entre a massa de armazenamento térmico e a superfície

H_{is} – trocas radioactivas e convectivas entre as superfícies da envolvente exterior

Este método efectua um balanço dinâmico do espaço contabilizando, em cada hora, o balanço entre as perdas e os ganhos térmicos, pelos vãos envidraçados e pela envolvente opaca, bem como dos ganhos internos.

$$Q_{hc} = Q_v + Q_w + Q_{em} + Q_g$$

Capítulo 3 – Caracterização do edifício em estudo

3.1 Introdução

Neste capítulo foram definidas as dimensões e os pormenores construtivos do edifício, face às normas do RCCTE, bem como toda a envolvente do edifício.

Este edifício vai servir de referência para o estudo a desenvolver nos capítulos seguintes, e foi desenhado de modo a poder alterar-se facilmente várias componentes, a fim de se analisar as várias soluções que se podem adoptar.

Para a verificação do edifício segundo as normas do RCCTE, começou por se definir a sua localização, bem como calcular a área interior e o pé direito. Definiu-se a estrutura e a dimensão do edifício. Calcularam-se ainda os coeficientes de transmissão térmica para os diferentes elementos (paredes exteriores, cobertura, pavimento, pontes térmicas planas e lineares).

Com todos os dados definidos, foram preenchidas as fichas do programa RCCTE-STE para se simular o edifício de referência. Foram estudadas várias situações variando alguns dados, de maneira a verificar o que seria importante implementar.

3.2 Edifício de referência

O edifício de referência tem uma área útil de 635.60 m² e tem um formato rectangular com dimensões de 31.00 m x 20.60 m. O edifício apresenta as fachadas de menor dimensão orientadas a Norte e a Sul, e as fachadas de maiores dimensões estão orientadas a Este e Oeste.

Tabela 2 - Áreas do edifício de referência

	Dimensões	Unidades
Área interior	635.60	m ²
Pé direito	4.48	m
Área de envidraçados N e S	9.00	m ²
Área de envidraçados E e O	18.00	m ²
Área paredes tijolo N e S	80.60	m ²
Área paredes tijolo E e O	116.40	m ²
Área paredes PTP N e S	2.69	m ²
Área paredes PTP E e O	4.48	m ²

O edifício de referência é constituído por paredes duplas de alvenaria com isolamento e caixa-de-ar, e por janelas de vidro duplo de caixilharia metálica.

A estrutura do edifício está assente em sapatas com 1.00m² de área onde apoiam os pilares quadrados (0.20x0.20m). Os pilares estão a uma distância de 5.00m entre si e são unidos por vigas de 0.30m de altura, tanto no topo dos pilares como na zona térrea. O edifício apresenta um pé direito médio de 4.48m e a sua cobertura é composta por um terraço invertido com um tecto falso de 0.50m.

3.2.1 Planta do edifício

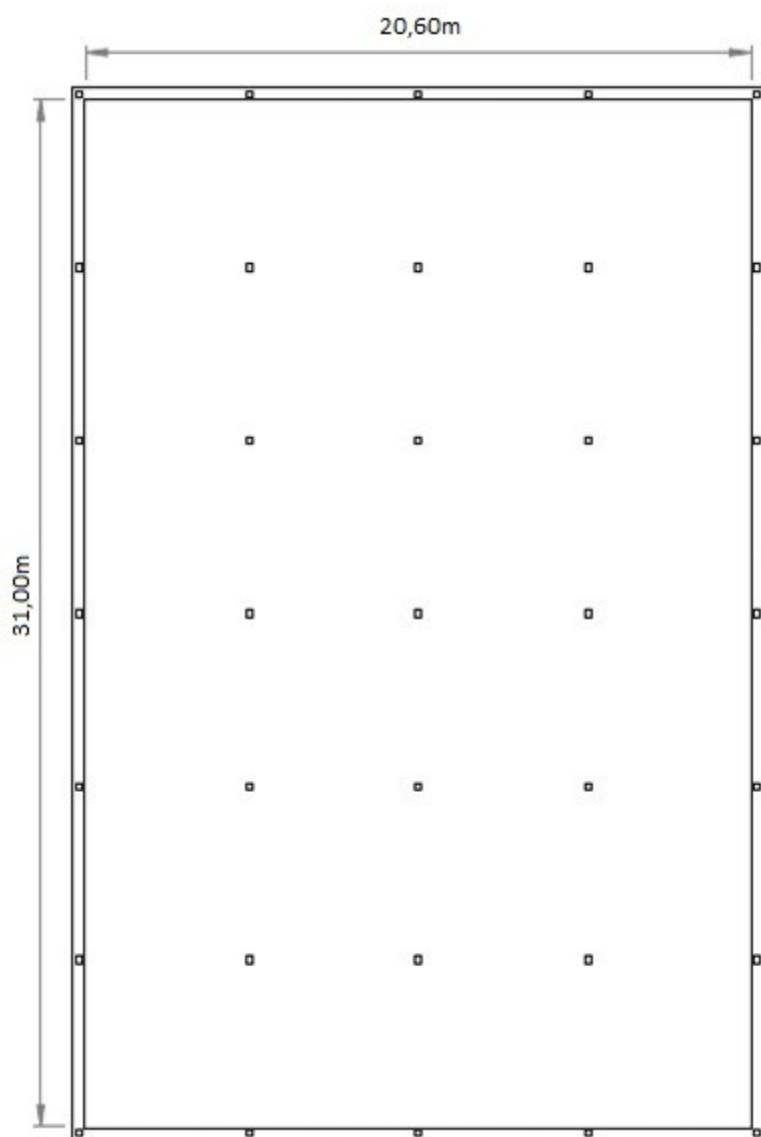


Figura 7 - Planta do edifício

3.2.2 Alçados Este e Oeste

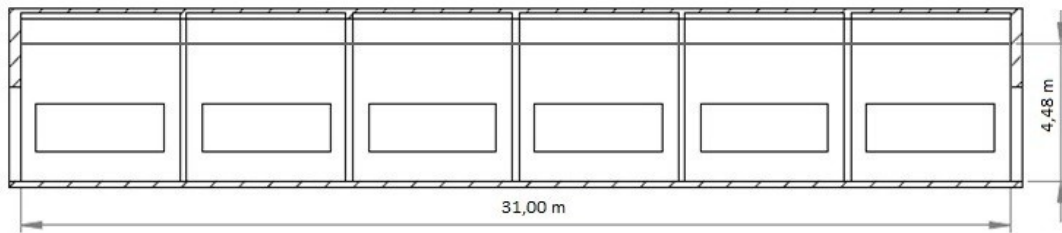


Figura 8 - Alçado Este e Oeste do edifício de referência

3.2.3 Alçados Norte e Sul

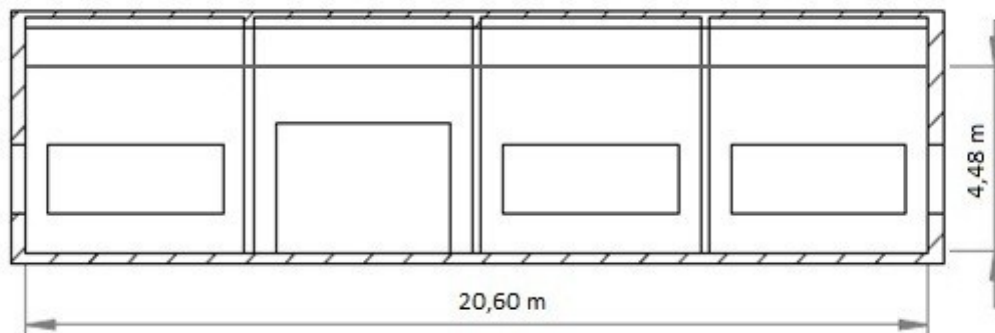


Figura 9 - Alçado Norte e Sul do edifício de referência

3.3 Localização

O edifício localiza-se na zona de Almada, e segundo o RCCTE, esta zona é classificada como zona climática I₁ V₁.

3.3.1 Dados climáticos (Almada)

No DL n°80/2006 estão apresentados os dados climáticos correspondentes aos concelhos de Portugal.

Na tabela 3 podem verificar-se os dados climáticos para Almada.

Tabela 3 - Dados climáticos para o concelho de Almada

Concelho	Número de graus dias (GD)	Duração da estação de aquecimento	Temperatura extrema de projecto	Amplitude térmica
Almada	1160 °C.dias	5.3 meses	31 °C	10 °C

3.4 Pormenores construtivos do edifício

3.4.1 Paredes

A solução utilizada para as paredes exteriores de alvenaria foi de parede dupla, constituída por pano de tijolo furado de 15cm pelo interior e um pano de tijolo furado de 11cm pelo exterior, com caixa-de-ar de 11cm, preenchida parcialmente com um isolamento térmico XPS de 6cm. O acabamento final das paredes será tanto no interior, como no exterior, em argamassa de cimento rebocado, tendo uma espessura de 2cm, devidamente pintada. A espessura total da parede exterior é de 41cm.

Segundo o DL n°80/2006, os coeficientes de transmissão térmica, definidos para as várias zonas climáticas, não podem ultrapassar os valores descritos no quadro IX.1 desse mesmo DL. Verifica-se assim que se pode utilizar um coeficiente de transmissão térmica nas paredes exteriores do edifício de referência com um valor máximo de $1.8 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Com o auxílio de uma folha de Excel (Anexo I), calculou-se o coeficiente de transmissão térmica para a parede exterior escolhida anteriormente, tendo sido obtido como resultado o valor de $0.377 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, o que se considera dentro dos valores regulamentares. Podemos concluir que o edifício apresenta grandes dimensões e tem uma grande área de parede, pelo que se definiu um coeficiente térmico bastante melhor do que o exigido pela legislação.

3.4.2 Cobertura

A cobertura que vai ser adoptada é um terraço invertido, constituído por 15cm de brita, com isolamento térmico XPS de 15cm e uma laje de betão de 20 cm, tendo ainda um tecto falso com 50cm de espessura e uma placa de gesso cartonado com 2cm. A espessura total da cobertura é de 97cm. Devido às suas dimensões, é possível esconder as condutas de climatização no espaço da caixa-de-ar.

A verificação da cobertura segundo as normas do RCCTE é idêntica à das paredes, no entanto os limites máximos são diferentes e existem dois tipos de coeficientes de transmissão térmica, o ascendente e o descendente.

O valor máximo definido pelo DL é de $1,25 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, tanto para o coeficiente de transmissão térmica ascendente como para o descendente. Os valores obtidos por meio de cálculo para os coeficientes ascendentes e descendentes foram de $0.217 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e $0.211 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, respectivamente. Conclui-se que os valores obtidos para a cobertura estão regulamentares.

3.4.3 Pavimento

O pavimento é composto por uma laje de betão de 20cm, onde assenta um isolamento térmico de 12cm, uma betonilha de 3cm e um piso cerâmico de 2cm de espessura. Espera-se assim que as perdas térmicas sejam inferiores ao comum.

Os coeficientes de transmissão térmica máximos estabelecidos pelo RCCTE são iguais aos da cobertura, sendo esse valor de $1.25\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Tal como na cobertura, o pavimento tem um coeficiente de transmissão térmica ascendente e descendente, tendo sido obtidos os valores de $0.287\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e $0.281\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, respectivamente. Com estes parâmetros, verifica-se que o pavimento está dentro das normas do RCCTE.

3.4.4 Pontes térmicas planas, nas paredes com pilares

As paredes na zona dos pilares da envolvente exterior do edifício são constituídas por um pano de tijolo de 11cm, um isolamento térmico XPS de 6cm, um pilar de betão de 20cm e um reboco de 2cm de ambos os lados exterior e interior.

As PTP são verificadas de acordo com o regulamento, no qual o limite máximo imposto para o coeficiente de transmissão térmica é de $1,8\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, tal como o das paredes. Acrescenta-se ainda que, por ser PTP, o valor máximo do coeficiente também não pode ultrapassar o dobro do valor obtido nas paredes exteriores. Sendo assim, o valor máximo do coeficiente de transmissão térmico será igual a $0.754\text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ($2 \times 0.377\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$), que é inferior a $1.8\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Verificamos assim que cumpre o limite regulamentar, pois o valor das PTP, de acordo com o estabelecido, é de $0.444\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, que é inferior a $0.754\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

3.4.5 Pontes térmicas lineares

Vão existir três tipos de pontes térmicas lineares: as PTL das ombreiras das janelas, as PTL na junção entre as duas paredes e as PTL entre o pavimento e as paredes. Em relação às PTL das ombreiras das janelas, estas têm isolamento a toda a volta e têm um comprimento de 116.4m, apresentando um $\Psi=0\text{W/m}^\circ\text{C}$, pois o isolamento está em contacto com a caixilharia, como referido na página 2498 do DL n°80/2006. As PTL de junção entre as duas paredes verticais têm um comprimento de 17,92m e um $\Psi=0.2\text{W/m}^\circ\text{C}$, como referido na página 2497 do DL n°80/2006. As PTL entre o pavimento e as paredes apresentam um comprimento de 106m e um $\Psi=0.6\text{W/m}^\circ\text{C}$, como referido na tabela da página 2495 do DL n°80/2006.

3.4.6 Envidraçados

Os envidraçados escolhidos são em caixilharia metálica com corte térmico, com vidro duplo, e lâmina de ar de 6mm. O coeficiente de transmissão térmica retirado do ITE 50 [15] para esse mesmo vão envidraçado é de $3.7\text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Para que os envidraçados cumpram os requisitos mínimos do RCCTE, é necessário que estes apresentem um dispositivo de protecção solar para o Verão. Assim, optou-se por colocar estores venezianos com lâminas metálicas.

3.5 Pormenores de funcionamento do edifício

Para os parâmetros de funcionamento do edifício de referência foram escolhidos os valores de referência do RSECE para gabinetes de escritório.

3.5.1 Densidade de ocupação

O valor pré-definido pelo DL n.º79/2006 para a ocupação é de 15m²/ocupante, tendo sido este o adoptado como valor base para o estudo em curso.

3.5.2 Densidade de iluminação

O valor da densidade de iluminação não é estipulado pelo DL n.º79/2006. Assim, neste caso, foi considerado um valor de 8W/m², pois seria o valor médio de iluminação de uma sala (100W/12m²=8.3W/m²).

3.5.3 Densidade de equipamento

Em relação aos equipamentos, está definido no DL n.º79/2006 o valor de 15W/m², tendo por isso sido adoptado como valor de referência para o estudo.

3.5.4 Ventilação

A ventilação é definida pelo valor do caudal mínimo de ar novo, que está mencionado no anexo IV do DL n.º79/2006 na página 2438, para um edifício de serviços, mais especificamente de gabinetes (escritórios). Os valores são 5 m³/h.m² e 35m³/h.ocupante, optando-se pelo maior destes dois valores calculados em função da área e do número de ocupantes.

3.5.5 Temperaturas de referência

Os valores definidos para a temperatura de referência de Inverno e de Verão são 20°C e 25°C, respectivamente, estando relacionadas com o conforto das pessoas, tendo em conta o clima no nosso país.

3.6 Verificação e cumprimento das normas do RCCTE

A verificação do regulamento RCCTE foi efectuada com o programa RCCTE-STE, onde foram introduzidos os dados definidos anteriormente.

Na parte do RCCTE, os dados inseridos foram relativos às paredes, aos envidraçados, às PTP, às PTL, à cobertura, e ao pavimento.

Na parte do STE, foram definidos os parâmetros da ocupação, da iluminação, do equipamento, da ventilação e as temperaturas de referência de aquecimento e arrefecimento.

3.7 Resultados obtidos pela simulação no programa RCCTE-STE

Analisando os resultados obtidos para o edifício de referência, podem observar-se como factores mais importantes, as necessidades nominais de energia, o IEE e as potências nominais de simulação.

Os resultados obtidos para as necessidades nominais de energia são 39 KWh/m².ano para o aquecimento e 7.22 KWh/m².ano para o arrefecimento. O valor do IEE é 23.4 Kgep/m².ano. As potências nominais de simulação são de 21.32KW para o aquecimento e 32.74KW para o arrefecimento.

Tabela 4 – Resultados mais importantes obtidos pelo RCCTE-STE

	Aquecimento	Arrefecimento
Necessidades nominais de energia (KWh/m ² .ano)	39	7.22
IEE (Kgep/m ² .ano)	23.4	
Potências nominais de simulação (KW)	21.32	32.74

No anexo II encontram-se as folhas com todos os resultados obtidos.

Capítulo 4 – Caso de estudo

4.1 Estudo das alterações simuladas no programa RCCTE-STE

Foram alteradas várias variáveis que têm alguma influência nas potências nominais de simulação. Assim, no programa do STE fez-se variar a densidade de ocupação, a densidade de iluminação, a densidade de equipamento, e a localização do edifício. No RCCTE fez-se variar o pé direito médio, a distância ao litoral e altitude, a orientação dos envidraçados, e a área de envidraçados.

4.2 Variação da densidade de ocupação

Partindo do caso de referência com uma densidade de $15\text{m}^2/\text{ocupante}$, fez-se variar a densidade de ocupação de 1 a $636\text{m}^2/\text{ocupante}$, o que corresponde a variar entre 636 e 1 pessoas.

Na tabela 5 e no gráfico 2 estão representados os valores obtidos para as potências nominais de simulação para o aquecimento e arrefecimento. Os dados de referência estão assinalados a amarelo.

Através da análise da tabela 5, é possível verificar que as potências nominais de aquecimento e arrefecimento para valores acima de $7\text{m}^2/\text{ocupante}$ mantêm-se praticamente constantes. Para densidades de ocupação inferiores a $7\text{m}^2/\text{ocupante}$ (que corresponde a mais ocupantes), as potências nominais sofrem um aumento acentuado.

Tabela 5 - Densidade de Ocupação

		Densidade de ocupação [m²/ocupante]																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	50	200	300	500	636
nº de pessoas		636	318	212	159	127	106	91	79	71	64	42	32	25	13	3	2	1	1
caudal mínimo de ar novo m³/h		22246	11123	7415	5562	4449	3708	3178	3178	3178	3178	3178	3178	3178	3178	3178	3178	3178	3178
Potência nominal	Aquecimento	112.37	58.88	41.06	32.12	26.54	22.96	20.58	20.65	20.79	20.91	21.32	21.50	21.59	21.82	21.93	21.98	21.98	21.98
de simulação KW	Arrefecimento	153.55	85.60	63.09	51.86	45.01	40.44	37.29	36.24	35.39	34.74	32.74	31.74	31.14	29.94	29.04	28.95	28.84	28.84
IEE		23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4

Na tabela 5 estão igualmente apresentados os valores do IEE, que como esperado se mantêm iguais a 23.4, uma vez que estão calculados com base nos dados de referência.

Em relação ao caudal mínimo de ar novo que é insuflado no edifício, definido no anexo VI página 2438 do DL nº 79/2006, para os edifícios de serviço de gabinetes (escritórios), foi utilizado o maior dos valores entre o caudal calculado pela área e o caudal calculado pelos ocupantes, que corresponde aos valores de $5\text{m}^3/\text{h.m}^2$ e $35\text{m}^3/\text{h.ocupante}$.

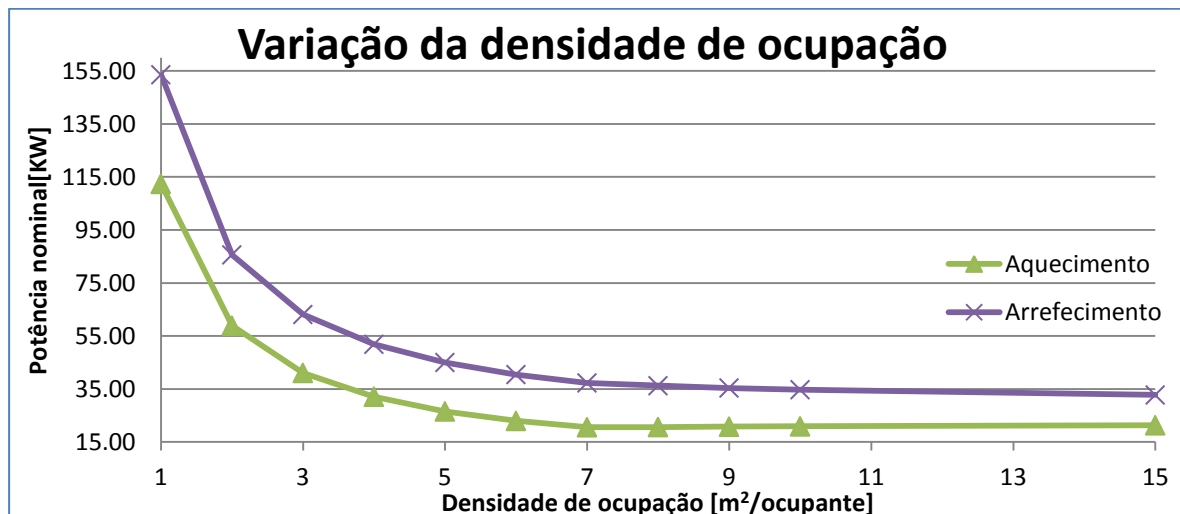


Gráfico 2 - Densidade de ocupação

No gráfico 2 apenas estão representados os valores de 1 m²/ocupante a 15 m²/ocupante, visto que a partir de 15 m²/ocupante a potência é praticamente a mesma.

A alteração da densidade de ocupação é o que introduz uma variação mais significativa no que diz respeito às potências nominais de simulação. O facto do valor limite mínimo para o caudal mínimo de ar novo ser obtido entre a variação do número de ocupantes ou o valor da área útil do edifício, provoca que o caudal seja constante em função da área, qualquer que seja o número de pessoas presentes até ao caso de 91 ocupantes. A partir desse valor o caudal limite mínimo passa a ser obtido em função do número de ocupantes o que provoca um aumento muito significativo no caudal necessário. Como consequência directa do acima referido, as potências nominais de aquecimento e arrefecimento sofrem um aumento exponencial a partir do valor de 7 m²/ocupante.

4.3 Variação da densidade de iluminação

Partindo do caso de referência, com uma densidade de iluminação de 8 W/m², fez-se variar a densidade de iluminação entre 1 W/m² e 15 W/m².

Na tabela 6 e no gráfico 3, estão representados os valores obtidos para as potências nominais de simulação para o aquecimento e arrefecimento, e os valores do IEE, tudo em função da densidade de iluminação.

Tabela 6 - Densidade de iluminação

		Densidade de iluminação [w/m ²]														
Potência nominal de simulação [KW]	Aquecimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		22.00	21.92	21.81	21.72	21.62	21.53	21.41	21.32	21.20	21.09	20.96	20.85	20.72	20.62	20.56
	Arrefecimento	29.12	29.62	30.16	30.66	31.20	31.70	32.23	32.74	33.27	33.78	34.31	34.82	35.35	35.86	36.39
	IEE	18.3	18.9	19.8	20.4	21.2	21.9	22.8	23.4	24.3	25	25.8	26.5	27.4	28	28.9

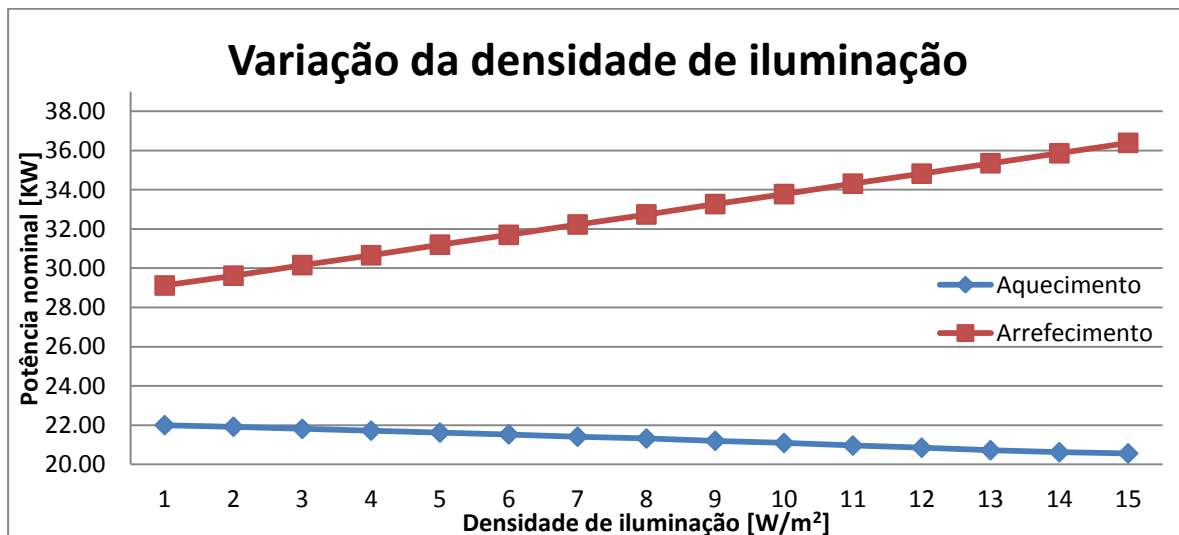


Gráfico 3 - Densidade de iluminação

A densidade de iluminação é o único parâmetro que não tem valores de referência, pelo que os valores do IEE vão variar para as situações consideradas.

Como seria de esperar, a potência nominal de arrefecimento aumenta linearmente, sendo esse valor de 7.27 KW, enquanto na potência nominal de aquecimento se verifica o inverso e o valor da diminuição é de 1.44KW. Isto representa que o aumento da potência nominal de arrefecimento é cinco vezes superior à diminuição da potência nominal de aquecimento. Como esperado, pode afirmar-se que a iluminação contribui para o aquecimento e que é prejudicial para o arrefecimento.

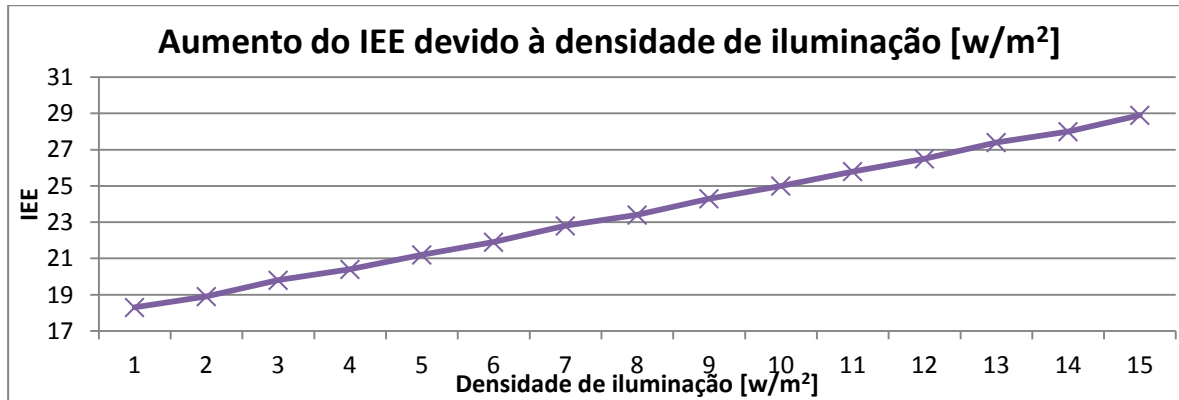


Gráfico 4 - IEE densidade de iluminação

No gráfico 4, verifica-se que o IEE aumenta linearmente com a densidade de iluminação. O programa RCCTE-STE calcula o IEE pelos valores do perfil pré-definido, sendo a densidade de iluminação o único parâmetro no qual se podem alterar ambos os valores (perfil pré-definido e o definido pelo utilizador). Este aumento é devido à alteração dos valores pré-definidos para a densidade de iluminação.

4.4 Variação da densidade de equipamento

Partindo do caso de referência com uma densidade de equipamento de 15W/m², fez-se variar a densidade de equipamento de 1 W/m² a 80 W/m², de forma a obter as potências nominais de simulação de aquecimento e arrefecimento.

Tabela 7 - Densidade de equipamento

		densidade do equipamento [w/m²]												
		0	1	2	5	10	15	20	25	30	35	45	60	80
Potência nominal de simulação [KW]	Aquecimento	24.08	23.90	23.74	23.21	22.31	21.32	20.25	19.45	18.73	17.98	16.52	14.33	12.34
	Arrefecimento	24.25	24.85	25.41	27.16	29.94	32.74	35.50	38.24	40.94	43.64	49.02	57.02	67.58
IEE		23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4

Na tabela 7 e no gráfico 5 estão representados os valores obtidos das potências nominais de simulação para o aquecimento e arrefecimento em função da densidade de equipamento.

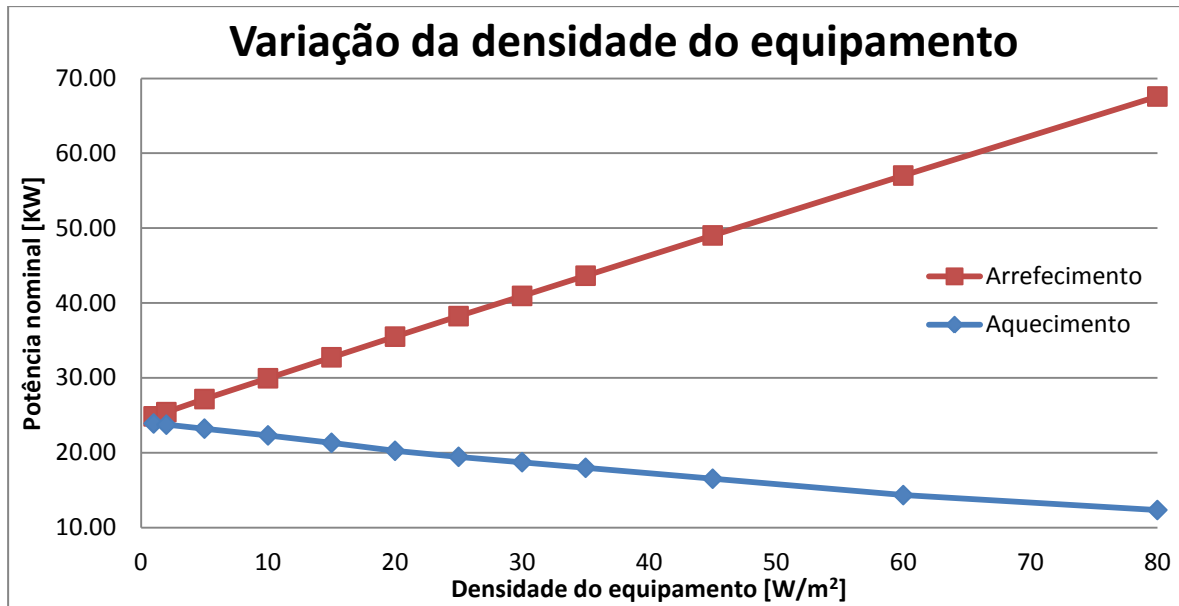


Gráfico 5 - Densidade de equipamento

Pela análise do gráfico 5 pode verificar-se que a potência nominal necessária para arrefecimento aumenta linearmente, sendo esse aumento de 42.73KW, enquanto a potência de aquecimento mostra uma diminuição de 11.56KW. Assim, o aumento de potência de arrefecimento é 3,7 vezes superior à diminuição da potência de aquecimento.

Ao fazer variar a densidade de iluminação e a densidade de equipamento obtêm-se resultados idênticos. Em ambos os casos as potências nominais de arrefecimento aumentam e as potências nominais de aquecimento diminuem. Estas variações têm algum significado se o edifício estiver mal dimensionado em termos de iluminação. Em relação aos equipamentos, a variação nas potências nominais de aquecimento e arrefecimento só se faz sentir se o espaço estiver sobrelotado permanente de equipamento.

4.5 Influência da localização do edifício

No caso de referência o edifício é localizado em Almada. Foram consideradas outras localizações de forma a cobrir as restantes zonas climáticas conforme descritas no quadro III.1 do DL n° 80/2006 (Almada (I1 V1), Albufeira (I1 V2), Beja (I1 V3), Alcobaça (I2 V1), Braga (I2 V2), Abrantes (I2 V3), Celorico da Beira (I3 V1), Bragança (I3 V2) e Lamego (I3 V3)). Assim alterou-se a localização do edifício em estudo, tendo-se verificado que esta influência teve impacto nas necessidades nominais de energia, pois o edifício não ficou regulamentar na maior parte das localidades.

Tabela 8 - Variação da localização do edifício base

		I1 V1	I1 V2	I1 V3	I2 V1	I2 V2	I2 V3	I3 V1	I3 V2	I3 V3
		Almada	Albufeira	Beja	Alcobaça	Braga	Abrantes	Celorico da Beira	Bragança	Lamego
	Altitude	60	60	169	119	115	80	447	652	720
	Distância ao Lito	5	4	85	10	30	77	115	175	70
Necessidades nominais de energia	aquecimento	39.00	37.15	44.56	63.13	68.78	64.33	91.96	127.30	107.38
	arrefecimento	7.22	17.13	17.12	2.87	3.23	11.73	2.87	3.23	3.23
80% - Necessidades nominais de energia	aquecimento	40.26	39.31	44.37	55.42	60.48	55.11	74.38	93.66	78.18
	arrefecimento	17.60	25.60	25.60	12.80	14.40	20.80	12.80	14.40	14.40
Potência nominal de simulação [KW]	aquecimento	21.32	21.23	23.20	25.75	26.26	27.56	35.06	31.31	31.88
	arrefecimento	32.74	33.56	39.43	27.50	25.23	36.46	26.86	27.96	28.40
	IEE	23.40	23.00	23.70	23.30	23.40	23.40	23.80	23.40	23.40

Na tabela 8 pode verificar-se que as localidades que se apresentam a vermelho não se encontram regulamentares.

Analisando os resultados da tabela 8, e partindo do caso de referência localizado em Almada, só Albufeira é que não necessitou de alterações. Em todas as outras localidades foi necessário fazer alterações a nível da construção do edifício, tais como o isolamento e, em casos mais críticos, baixar o pé direito médio.

Para se tornar regulamentar o edifício em Beja (I1 V3), foi apenas necessário alterar o isolamento da cobertura em mais 1cm, ficando com 16cm de isolamento.

Para as localidades de Alcobaça (I2 V1) e Braga (I2 V2), aumentou-se o isolamento na cobertura para 28 cm e o isolamento das paredes para 12 cm. Além do isolamento nas paredes, alterou-se o pano de parede de tijolo 11cm para 15cm. Só assim é que o edifício ficou regulamentar para estas duas localidades.

Para a localidade de Abrantes (I2 V3), mantiveram-se as alterações das localidades anteriores, necessitando alterar o isolamento da cobertura em mais 2 cm passando para 30cm. Alterou-se também a caixilharia aplicada no edifício para uma caixilharia da Classe 2. Com estas alterações o edifício ficou regulamentar nesta localidade.

Para a localidade de Celorico da Beira (I3 V1), o isolamento da cobertura passou para 30cm, e as paredes foram alteradas para uma parede dupla de tijolo de 15 e 12 cm de isolamento. Alterou-se ainda a caixilharia para a Classe 3. Com estas alterações o edifício ficou regulamentar nesta localidade.

Para as localidades de Bragança (I3 V2) e Lamego (I3 V3), alteraram-se os valores da cobertura e das paredes como no caso de Celorico da Beira, e mesmo com esses valores elevados teve que se alterar o pé direito médio para 3.80m. Isto deve-se à taxa de renovação de ar ser muito elevada, e também ao facto de o edifício com pé direito muito alto ter um grande volume.

A alteração da localização do edifício influenciou as potências nominais de simulação e as necessidades nominais de energia. Na tabela 9 estão representadas essas alterações, algumas um pouco extremas, ficando o edifício regulamentar em todas as localizações.

Tabela 9 - Localizações dos edifícios regulamentares

		I1 V1	I1 V2	I1 V3	I2 V1	I2 V2	I2 V3	I3 V1	I3 V2	I3 V3
		Almada	Albufeira	Beja	Alcobça	Braga	Abrantes	Celorico da Beira	Bragança	Lamego
Necessidades nominais de energia [Kwh/m ² .ano]	aquecimento	39.00	37.15	44.23	55.19	60.48	50.84	68.82	85.89	72.61
	arrefecimento	7.22	17.13	17.04	2.97	3.03	12.31	4.04	7.60	7.60
Potência nominal de simulação [KW]	aquecimento	29.85	29.72	23.11	24.00	24.43	25.82	32.83	29.39	29.82
	arrefecimento	45.84	46.98	39.34	26.60	24.30	35.25	26.29	30.35	30.55

4.6 Alteração do pé direito médio

Partindo do caso de referência que tem um pé direito médio de 4.48m, fez-se baixar o pé direito médio de forma a analisar-se as potências nominais de simulação para o aquecimento e para o arrefecimento.

Na tabela 10 e no gráfico 6 estão apresentadas as potências nominais para o aquecimento e arrefecimento, em função da altura do pé direito médio. Também na mesma tabela estão apresentados os resultados para as necessidades nominais de energia e o IEE, bem como estão representadas as alterações efectuadas na área das paredes de tijolo e na área das PTP.

Tabela 10 - Variação do pé direito médio

	Pé direito	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.10	4.15	4.18	4.20	4.40	4.48	m
Area Paredes Tijolo N e S		51.00	55.00	59.00	63.00	67.00	71.00	73.00	74.00	74.60	75.00	79.00	80.60	m ²
Área Paredes Tijolo E e O		72.00	78.00	84.00	90.00	96.00	102.00	105.00	106.50	107.40	108.00	114.00	116.40	m ²
Área Paredes PTP N e S		1.80	1.92	2.04	2.16	2.28	2.40	2.46	2.49	2.51	2.52	2.64	2.69	m ²
Área Paredes PTP E e O		3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.10	4.15	4.18	4.20	4.40	4.48	m ²
PTL		12.00	12.80	13.60	14.40	15.20	16.00	16.40	16.60	16.72	16.80	17.60	17.92	m
Necessidades nominais de energia [Kwh/m2.ano]	aquecimento	27.11	28.83	30.89	32.61	34.33	36.39	37.42	37.93	38.24	36.12	38.18	39.00	
	arrefecimento	12.18	11.93	11.39	11.13	10.59	10.33	10.06	10.06	10.07	7.77	7.50	7.22	
Potência nominal de simulação [KW]	aquecimento	21.55	21.65	21.75	21.85	21.94	22.04	22.09	22.11	22.13	21.19	21.28	21.32	
	arrefecimento	34.95	34.99	35.02	35.07	35.10	35.14	35.15	35.17	35.16	32.71	32.72	32.74	
IEE		23.40	23.40	23.40	23.40	23.40	23.40	23.50	23.50	23.50	23.40	23.40	23.40	

O que era de esperar seria que existisse um aumento linear no aquecimento e no arrefecimento, o que se verificou. No entanto, existe uma excepção que é um salto entre os valores de 4.16m e 4.24m que não se consegue explicar, e que se pode ver no gráfico 6.

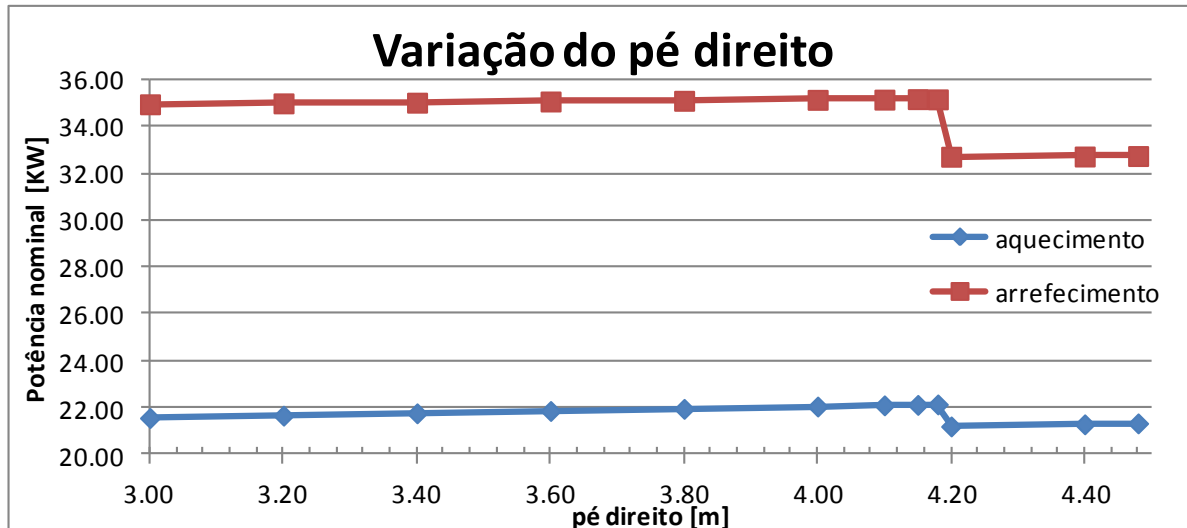


Gráfico 6 - Variação do pé direito

4.7 A Influência da altitude e distância ao litoral

Partindo como base o caso de referência, em que se considerou que o edifício estava a uma altitude de 60m e a uma distância do litoral de 5km, fez-se aumentar a altitude até aos 700m e fez-se ainda variar a distância ao litoral entre 3km e 90km.

Na tabela 11 estão representadas essas mesmas soluções em termos de altitude e distância ao litoral.

Tabela 11 - Variação da altitude e distância ao litoral

		Almada									
		Altitude	60	200	400	500	700	60	60	60	60
		Distância ao Litoral	5	5	5	5	5	3	20	50	90
Necessidades nominais de energia [Kwh/m^2.ano]	aquecimento	39.00	39.00	39.00	82.93	103.78	39.00	39.00	39.00	39.00	
	arrefecimento	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	
80% - Necessidades nominais de energia [Kwh/m^2.ano]	aquecimento	40.26	40.26	40.26	66.80	79.44	40.26	40.26	40.26	40.26	
	arrefecimento	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	17.60	
Potência nominal de simulação [KW]	aquecimento	21.32	21.32	21.32	21.32	21.32	21.32	21.32	21.32	21.32	
	arrefecimento	32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	32.74	
		IEE	23.40	23.40	23.40	22.90	22.80	23.40	23.40	23.40	23.40

Este estudo teve como único objectivo verificar se o programa estava conforme o descrito no DL. Pode assim verificar-se, pelos dados obtidos, que a distância ao litoral não influencia qualquer resultado da potência nominal de simulação. A altitude influencia as necessidades nominais de energia, mas não as potências nominais de simulação.

4.8 Alteração da orientação dos envidraçados

Partindo do caso de referência alterou-se a localização dos envidraçados no edifício passando por todas as orientações possíveis (Norte, Sul, Este e Oeste). Obtiveram-se as necessidades nominais de energia e as potências nominais de simulação para os vários casos.

De forma a alcançar o objectivo de alteração da orientação dos envidraçados, modificaram-se no edifício base algumas variáveis, tais como as áreas dos envidraçados, as áreas das paredes de tijolo, e as PTL das ombreiras das janelas.

Na tabela 12 estão indicados os valores obtidos das modificações para as várias orientações, como também os resultados das necessidades nominais de energia e as potências de simulação.

Tabela 12 - Orientação dos envidraçados

		refer.	S	N	E	O	
	Área de envidraçados N	9	0	54	0	0	m ²
	Área de envidraçados S	9	54	0	0	0	m ²
	Área de envidraçados E	18	0	0	54	0	m ²
	Área de envidraçados O	18	0	0	0	54	m ²
	Area Paredes Tijolo N	80.6	89.6	35.6	89.6	89.6	m ²
	Area Paredes Tijolo S	80.6	35.6	89.6	89.6	89.6	m ²
	Área Paredes Tijolo E	116.4	134.4	134.4	80.4	134.4	m ²
	Área Paredes Tijolo O	116.4	134.4	134.4	134.4	80.4	m ²
	PTLJ	66.6	51	51	72	72	m ²
		refer.	S	N	E	O	
Necessidades nominais de energia [Kwh/m ² .ano]	aquecimento	39	34.95	42.14	39.32	39.32	
	arrefecimento	7.22	6.83	5.92	7.65	7.68	
Potência nominal de simulação [KW]	aquecimento	21.32	21.11	21.41	21.36	21.32	
	arrefecimento	32.74	32.68	31.78	32.6	33.39	

Para todos as situações obtiveram-se valores das necessidades nominais de energia diferentes do caso de referência. Para as orientações Este e Oeste as necessidades de energia de aquecimento foram iguais. Para as potências nominais de simulação existe uma diferença máxima de 1% para o aquecimento e 3% para o arrefecimento em relação ao caso de referência, o que se revela pouco ou nada significativo. No entanto, isto deve-se ao facto do isolamento nos vãos envidraçados ser extremamente eficiente, bem como existir um elemento de oclusão nos mesmos vãos.

4.9 Alteração da área dos envidraçados

Partindo do caso de referência, fez-se variar a percentagem de envidraçado entre 1,59% a 15,86%, de forma a obter-se as diferentes necessidades nominais e as potências de nominais de simulação.

Ao alterar-se as percentagens, alterou-se as áreas dos envidraçados, o que influenciou as áreas das paredes, e as PTL das ombreiras das janelas.

Na tabela 13 estão apresentados todos os valores que sofreram alterações, bem como os resultados obtidos para as necessidades nominais de energia e para as potências de simulação.

Tabela 13 - Variação da área de envidraçados

Area de envidraçado total		10.08	25.74	35.10	45.36	54.00	65.52	75.60	86.40	100.80
Área de envidraçados N		1.68	4.29	5.85	7.56	9.00	10.92	12.60	14.40	16.80
Área de envidraçados S		1.68	4.29	5.85	7.56	9.00	10.92	12.60	14.40	16.80
Área de envidraçados E		3.36	8.58	11.70	15.12	18.00	21.84	25.20	28.80	33.60
Área de envidraçados O		3.36	8.58	11.70	15.12	18.00	21.84	25.20	28.80	33.60
Porcentagem de envidraçado		1.59	4.05	5.52	7.14	8.50	10.31	11.89	13.59	15.86
Area Paredes Tijolo N		87.92	85.31	83.75	82.04	80.60	78.68	77.00	75.20	72.80
Area Paredes Tijolo S		87.92	85.31	83.75	82.04	80.60	78.68	77.00	75.20	72.80
Área Paredes Tijolo E		131.04	125.82	122.70	119.28	116.40	112.56	109.20	105.60	100.80
Área Paredes Tijolo O		131.04	125.82	122.70	119.28	116.40	112.56	109.20	105.60	100.80
PTL J		56.16	86.40	100.80	118.80	133.20	147.60	158.40	169.20	183.60
Necessidades nominais de energia [Kwh/m2.ano]	aquecimento	37.80	38.23	38.48	38.77	39.00	39.32	39.59	42.48	46.85
	arrefecimento	6.40	6.69	6.87	7.06	7.22	7.43	7.62	10.33	10.03
Potência nominal de simulação [KW]	aquecimento	19.53	20.18	20.56	20.97	21.32	21.78	22.17	23.61	24.19
	arrefecimento	30.73	31.46	31.89	32.35	32.74	33.26	33.71	36.87	37.50

Da análise dos valores, repara-se que as últimas duas colunas não ficaram regulamentares, e assim os valores das potências não vão ser tido em conta.

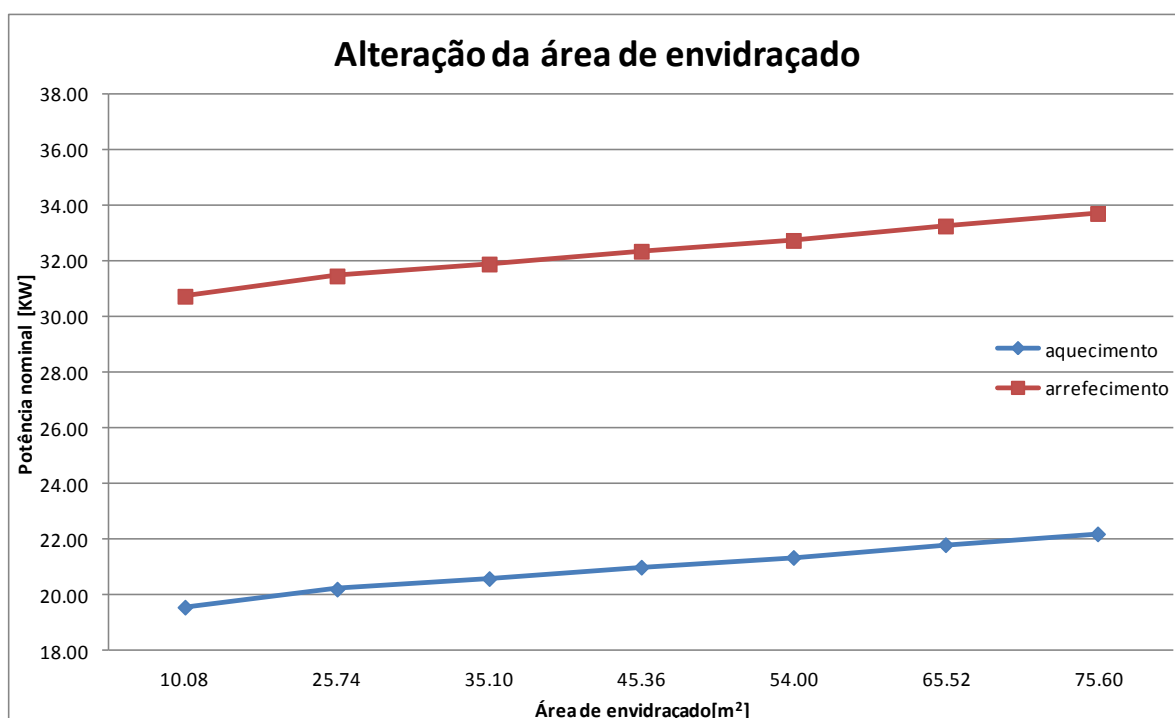


Gráfico 7 - Variação da área de envidraçados

No gráfico 7 estão representados os valores das potências nominais de aquecimento e arrefecimento.

Pode verificar-se pelo gráfico anterior que existe um aumento contínuo nas potências nominais de aquecimento e arrefecimento, devido ao aumento da área de envidraçados. Este aumento é pequeno, devido ao bom isolamento no vão envidraçado e também por estes apresentarem um elemento de obstrução. Se não fosse esse facto, o aumento seria bastante maior.

Capítulo 5 – Evolução psicrométrica

5.1 Evolução Psicrométrica

Pela análise dos resultados do programa RCCTE-STE obtiveram-se as potências nominais de aquecimento e de arrefecimento. De forma a melhorar a eficiência energética recorreu-se à recirculação do caudal de ar, de modo a obter a menor potência possível para as bombas de calor. Pela análise da evolução do diagrama psicrométrico, espera-se obter potências semelhantes de modo a escolher o equipamento para o edifício de referência.

Da análise do programa RCCTE-STE obtiveram-se os seguintes dados:

Tabela 14 - Dados obtidos pelo programa RCCTE-STE

Caudal de ar novo, m_E Massa volúmica do ar, $\rho = 1.21 \text{ kg/m}^3$	$3178 \text{ m}^3/\text{h} = 1.068 \text{ kg/s}$
Potência de aquecimento, P_{aquec}	21.32 kW
Potência de arrefecimento, P_{arref}	32.74 kW
Actividade	120 W/ocupante
Temperatura exterior mais baixa do ano T_{Emin}	4.8 °C
Temperatura exterior mais alta do ano T_{Emax}	35.9 °C
Em V1, humidade específica, W	10 g/kg_{ar seco}
Em I1, humidade específica, W	4 g/kg_{ar seco}
Densidade de Ocupação	15 m²/ocupante
Densidade de iluminação	15 W/m²
Densidade de equipamento	8 W/m²
Área útil	635.6 m²

O programa utilizado não nos fornece todos os dados necessários para a análise do diagrama psicrométrico, pelo que serão calculados alguns parâmetros necessários para a ventilação, como a mistura de ar utilizada para o edifício de referência. Para os cálculos efectuados utilizaram-se os valores das temperaturas nas condições exteriores mais desfavoráveis, de forma a garantir que ao longo de todo o ano não ocorram falhas, mesmo nas condições mais adversas.

Na figura 10 está representado um esquema de uma possível instalação, em que mostra o sistema de recirculação de modo a obter-se uma redução na potência instalada.

Os pontos A, E, I, e M são relativos às condições do ar em função da temperatura e da humidade relativa.

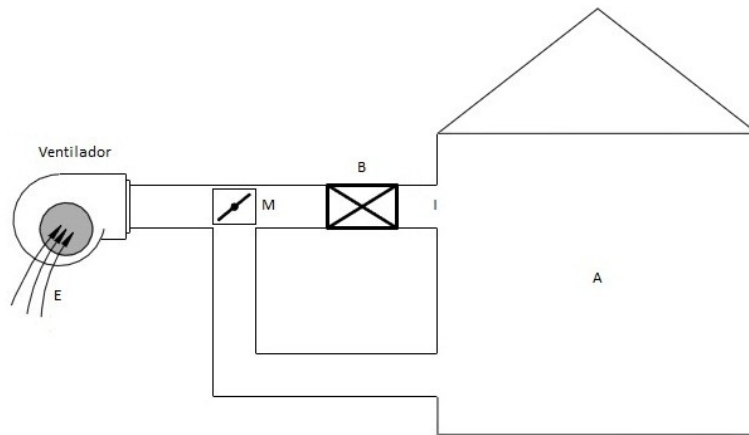


Figura 10 - Esquema ilustrativo da instalação

No anexo III estão os diagramas psicrométricos para a situação de Verão e para a situação de Inverno. Dos mesmos retiraram-se os valores das entalpias para os pontos especificados, e desenhou-se a evolução das temperaturas entre elas.

5.1.1 Situação de arrefecimento referente à estação de Verão

Do diagrama psicrométrico obtiveram-se os seguintes valores:

$$T_E = 35.9^\circ\text{C}; h_E = 60.9 \text{ kJ/kg}$$

$$T_A = 25^\circ\text{C}; h_A = 50.4 \text{ kJ/kg}$$

Pode-se assim calcular a potência para o caudal de ventilação

O calor de ventilação é dado por:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{vent.} &= \dot{m}_E(h_E - h_A) \leftrightarrow \dot{Q}_{vent.} = 1.068(60.9 - 50.4) \leftrightarrow \\ &\leftrightarrow \dot{Q}_{vent.} = 11.21 \text{ kW} \end{aligned}$$

A potência é dada por:

$$\begin{aligned} \dot{P}_{arref} &= \dot{Q}_T + \dot{Q}_v \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \dot{Q}_T &= \dot{P}_{arref} - \dot{Q}_{vent.} \leftrightarrow \dot{Q}_T = 32.74 - 11.21 \leftrightarrow \\ &\leftrightarrow \dot{Q}_T = 21.53 \text{ kW} \end{aligned}$$

Confirmou-se assim o número de pessoas

$$N^\circ \text{ de pessoas} = \frac{A_T}{Ocupação} = \frac{635.6}{15} = 42.37 \approx 42 \text{ pessoas}$$

De acordo como o livro de Carrier, para escritórios e para uma temperatura de 25°C retiram-se os seguintes valores de calor latente e sensível:

Tabela 15 - Dados do livro Carrier

\dot{q}_s	\dot{q}_l
57.5 kCal/h	55.5 kCal/h
66.8 W	64.4 W
$\dot{q}_T = 131.2 W$	

O valor encontrado para \dot{q}_T através do programa RCCTE é de 120W. Pelo livro de Carrier retirou-se um valor de $\dot{q}_T = 131.2W$. Assim os valores de \dot{q}_s e \dot{q}_l foram obtidos através de uma regra de três simples e estão apresentados na tabela 16.

Tabela 16 - Valores do calor total

\dot{q}_T	\dot{q}_s	\dot{q}_l
131.2 W	66.8 W	64.4W
120W	61.0W	59.0W

Assim, o calor latente total é $\dot{Q}_L = 42 \times 59 = 2.48 kW$

O calor total é calculado pela soma de todos as fontes de calor no edifício. Neste caso o calor total é igual a soma do calor sensível com o calor latente.

Assim:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_T &= \dot{Q}_s + \dot{Q}_L \leftrightarrow \dot{Q}_s = \dot{Q}_T - \dot{Q}_L \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \dot{Q}_s &= 21.53 - 2.48 \leftrightarrow \dot{Q}_s = 19.05 kW\end{aligned}$$

Desta forma, é possível tirar-se a linha de FQS:

$$FQS = \frac{\dot{Q}_s}{\dot{Q}_t} = \frac{19.05}{21.53} = 0.88$$

Através do diagrama psicrométrico pode retirar-se o ponto de insuflação, que é dado por:

$$T_I = 14.5^\circ\text{C}; h_I = 38.2 \text{ kJ/kg}$$

Para o cálculo do caudal de ar insuflado é necessário recorrer a outra definição do calor total:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_T &= \dot{m}_I(h_A - h_I) \leftrightarrow \dot{m}_I = \frac{\dot{Q}_T}{(h_A - h_I)} \leftrightarrow \dot{m}_I = \frac{21.53}{50.4 - 38.2} \leftrightarrow \\ &\leftrightarrow \dot{m}_I = 1.765 \text{ kg/s} = 5251.2 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

O caudal de ar recirculado será então:

$$\begin{aligned}\dot{m}_I &= \dot{m}_E + \dot{m}_A \leftrightarrow \dot{m}_A = \dot{m}_I - \dot{m}_E \leftrightarrow \dot{m}_A = 1.765 - 1.068 \leftrightarrow \\ &\leftrightarrow \dot{m}_A = 0.697 = 2073.7 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

Assim, é lógico considerar que a temperatura do ar que entra na bateria de frio não será a mesma que a do ar exterior, havendo por isso um ponto intermédio designado de ponto de mistura, M.

Tendo $\dot{m}_I = \dot{m}_M$ pode-se usar a regra da alavanca para calcular esse ponto M:

$$\frac{\overline{AM}}{\overline{AE}} = \frac{\dot{m}_E}{\dot{m}_M} \leftrightarrow \overline{AM} = \overline{AE} \frac{\dot{m}_E}{\dot{m}_M} \leftrightarrow \overline{AM} = 4.7 \frac{1.068}{1.765} \leftrightarrow \overline{AM} = 2.8 \text{ cm}$$

A partir deste ponto podem tirar-se quer a entalpia, quer a temperatura do ar que vai ser arrefecido na bateria de frio:

$$h_M = 56.9 \text{ kJ/kg}$$

$$T_M = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

5.1.2 Situação de aquecimento referente à estação de Inverno

Do diagrama psicrométrico obtiveram-se os seguintes valores:

$$T_A = 20^\circ\text{C}; h_A = 39 \text{ kJ/kg}$$

$$T_E = 4.8^\circ\text{C}; h_E = 15 \text{ kJ/kg}$$

Pode-se assim calcular a potência para o caudal de ventilação

O calor de ventilação é dado por:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{vent.} &= \dot{m}_E(h_A - h_E) \leftrightarrow \dot{Q}_{vent.} = 1.068(39 - 15) \leftrightarrow \\ &\leftrightarrow \dot{Q}_{vent.} = 25.63 \text{ kW}\end{aligned}$$

A potência é dada por:

$$\begin{aligned}\dot{P}_{aquec.} &= \dot{Q}_T + \dot{Q}_v \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \dot{Q}_T &= \dot{P}_{aquec.} - \dot{Q}_{vent.} \leftrightarrow \dot{Q}_T = 21.32 - 25.63 \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \dot{Q}_T &= -4.3 \text{ kW}\end{aligned}$$

De acordo como o livro de Carrier, para escritórios e para uma temperatura de 21°C retiram-se os seguintes valores:

Tabela 17 - Dados do livro Carrier

\dot{q}_s	\dot{q}_l
71 kCal/h	42 kCal/h
82.4 W	48.7 W
$\dot{q}_T = 131.2 \text{ W}$	

O valor encontrado para \dot{q}_T através do programa RCCTE é de 120W. Pelo livro de Carrier retirou-se um valor de $\dot{q}_T = 131.2 \text{ W}$. Assim os valores de \dot{q}_s e \dot{q}_l foram obtidos através de uma regra de três simples e estão apresentados na tabela 18.

Tabela 18 - Valores do calor total

\dot{q}_T	\dot{q}_s	\dot{q}_l
131.2 W	82.4 W	48.7 W
120W	75.4W	44.6 W

Assim, o calor latente total é $\dot{Q}_L = 42 \times 44.6 = 1.87 \text{ kW}$

Sendo a solução para o calor latente a mesma da situação de arrefecimento pode-se passar já ao cálculo do calor sensível:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_T &= \dot{Q}_s + \dot{Q}_L \leftrightarrow \dot{Q}_s = \dot{Q}_T - \dot{Q}_L \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \dot{Q}_s &= -4.3 - 1.87 \leftrightarrow \dot{Q}_s = -6.17 \text{ kW}\end{aligned}$$

Desta forma, é possível tirar-se a linha de FTA:

$$FTA = \frac{\dot{Q}_s}{\dot{Q}_T} = \frac{-6.17}{-4.3} = 1.4$$

Na definição do ponto de insuflação impôs-se um $\Delta T = 5^\circ \text{C} \rightarrow T_I = 25^\circ \text{C}$

Através do diagrama psicrométrico pode retirar-se o ponto de insuflação, que é dado por:

$$T_I = 25^\circ\text{C}; h_I = 42.5 \text{ kJ/kg}$$

Para o cálculo do caudal de ar insuflado é necessário recorrer a outra definição do calor total:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_T &= \dot{m}_I(h_I - h_A) \leftrightarrow \dot{m}_I = \frac{\dot{Q}_T}{(h_I - h_A)} \leftrightarrow \dot{m}_I = \frac{4.3}{42.5 - 39} \leftrightarrow \\ &\leftrightarrow \dot{m}_I = 1.23 \text{ kg/s} = 3655.3 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

O caudal de ar recirculado será então:

$$\begin{aligned}\dot{m}_I &= \dot{m}_E + \dot{m}_A \leftrightarrow \dot{m}_A = \dot{m}_I - \dot{m}_E \leftrightarrow \dot{m}_A = 1.23 - 1.068 \leftrightarrow \\ &\leftrightarrow \dot{m}_A = 0.162 = 482 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

Assim, é lógico considerar que a temperatura do ar que entra na bateria de aquecimento não será a mesma que a do ar exterior, havendo por isso um ponto intermédio designado de ponto de mistura, M.

Tendo $\dot{m}_I = \dot{m}_M$ pode-se usar a regra da alavanca para calcular esse ponto M:

$$\frac{\overline{AM}}{\overline{AE}} = \frac{\dot{m}_E}{\dot{m}_M} \leftrightarrow \overline{AM} = \overline{AE} \frac{\dot{m}_E}{\dot{m}_M} \leftrightarrow \overline{AM} = 7.1 \frac{1.068}{1.23} \leftrightarrow \overline{AM} = 6.2 \text{ cm}$$

A partir deste ponto tira-se o valor quer da entalpia, quer da temperatura do ar que vai ser aquecido na bateria de aquecimento:

$$h_M = 18 \text{ kJ/kg}$$

$$T_M = 6.5^\circ\text{C}$$

Apesar de o ar que sai da bateria de calor já estar à temperatura de insuflação pretendida, a sua humidade relativa não é a correcta, pelo que será necessário um humidificador, que irá introduzir vapor directamente na conduta. Essa humidade, sob a forma de caudal de vapor, é facilmente quantificável.

Retirando os valores de humidade absoluta (W_I e $W_{M'}$) dos diagramas psicrométricos, obteve-se:

$$W_I = 0.0040 \text{ kg}_v/\text{kg}_{\text{ar seco}}$$

$$W_{M'} = 0.0067 \text{ kg}_v/\text{kg}_{\text{ar seco}}$$

Assim:

$$\dot{w}_{\text{vapor}}^{\text{injectado}} = \dot{m}_I(w_M - w_I) \leftrightarrow \dot{w}_{\text{vapor}}^{\text{injectado}} = 1.23(0.007 - 0.004)$$

$$\leftrightarrow \dot{w}_{\text{vapor}}^{\text{injectado}} = 0.0037 \text{ kg}_v/\text{s} = 13.3 \text{ kg}_v/\text{h}$$

Verifica-se assim que é necessário inserir na conduta 13.3 Kg de vapor por hora.

Capítulo 6 – Selecção do equipamento

6.1 Introdução

A instalação será constituída por uma unidade de tratamento de ar, UTA, por um *chiller*, e por um humidificador, sendo estes os responsáveis pelo controlo da temperatura, da humidade do ar e do caudal de ar a ser insuflado.

Na escolha do equipamento recorreu-se a catálogos de 4 marcas: a “Daikin” para o *chiller*; a “Sandometal” para a UTA e para as condutas; a “Neptronic” para o humidificador; e a “Trox Technik” para os difusores.

6.1.1 Chiller

O *chiller* seleccionado é desenvolvido pela “Daikin” e é designado pela referência EWYQ130DAYN (os detalhes e características do *chiller* estão disponíveis em anexo). Este *chiller* possui quatro compressores e é capaz de funcionar também como bomba de calor, produzindo então frio ou calor consoante a necessidade. O fluido frigorigénio com que trabalha é o R-410A.

Como se pode verificar, as potências de aquecimento e de arrefecimento do *chiller* escolhido são suficientes face às necessidades impostas pelas piores condições exteriores, sendo estas de 21.32 kW e 32.74 kW, respectivamente.



Figura 11 – Chiller escolhido

6.1.2 UTA (Unidade de Tratamento de Ar)

Para a escolha da UTA recorreu-se à “Sandometal” e seleccionou-se a configuração 4.

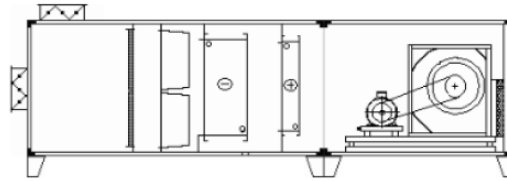


Figura 12 - Configuração da UTA e componentes

A UTA apresenta os seguintes componentes:

- Caixa de mistura com registros;
- Ventilador;
- Bateria de frio;
- Bateria de quente;
- Pré-filtro: filtra tipicamente partículas com dimensões de 3 a 10 μm , tais como pólen, fibras têxteis, esporos, e pó;
- Filtro: filtra partículas com dimensões entre 0,3 e 3 μm , tais como a bactérias e fumo.

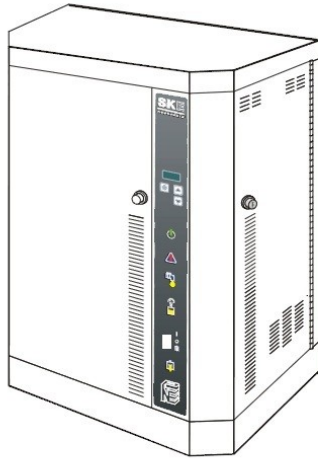
Modelo	Secção Exterior da UTA (Painel 25mm)			Secção Exterior da UTA (Painel 45mm)			Secção de passagem de ar			Área de passagem de ar	Caudal (m³/h)				
	L x H (mm)			L x H (mm)			L' x H' (mm)				1,5 m/s	2,0 m/s	2,5 m/s	3,5 m/s	4,0 m/s
SDM 01	670	x	520	710	x	560	400	x	300	0.120 m²	648 m³/h	864 m³/h	1080 m³/h	1512 m³/h	1728 m³/h
SDM 02	670	x	725	710	x	765	400	x	510	0.204 m²	1102 m³/h	1469 m³/h	1836 m³/h	2570 m³/h	2938 m³/h
SDM 03	960	x	725	1000	x	765	690	x	510	0.352 m²	1900 m³/h	2534 m³/h	3167 m³/h	4434 m³/h	5067 m³/h
SDM 04	960	x	1030	1000	x	1070	690	x	810	0.559 m²	3018 m³/h	4024 m³/h	5030 m³/h	7042 m³/h	8048 m³/h
SDM 05	1265	x	1030	1305	x	1070	980	x	810	0.794 m²	4287 m³/h	5715 m³/h	7144 m³/h	10002 m³/h	11431 m³/h
SDM 06	1265	x	1330	1305	x	1370	980	x	1080	1.058 m²	5715 m³/h	7620 m³/h	9526 m³/h	13336 m³/h	15241 m³/h
SDM 07	1550	x	1330	1590	x	1370	1250	x	1080	1.350 m²	7290 m³/h	9720 m³/h	12150 m³/h	17010 m³/h	19440 m³/h
SDM 08	1855	x	1330	1895	x	1370	1555	x	1080	1.679 m²	9069 m³/h	12092 m³/h	15115 m³/h	21160 m³/h	24183 m³/h
SDM 09	1855	x	1630	1895	x	1670	1530	x	1380	2.111 m²	11402 m³/h	15202 m³/h	19003 m³/h	26604 m³/h	30404 m³/h
SDM 10	1855	x	1930	1895	x	1970	1530	x	1680	2.570 m²	13880 m³/h	18507 m³/h	23134 m³/h	32387 m³/h	37014 m³/h
SDM 11	2145	x	1930	2185	x	1970	1820	x	1680	3.058 m²	16511 m³/h	22015 m³/h	27518 m³/h	38526 m³/h	44029 m³/h
SDM 12	2450	x	1930	2490	x	1970	2125	x	1680	3.570 m²	19278 m³/h	25704 m³/h	32130 m³/h	44982 m³/h	51408 m³/h
SDM 13	3040	x	1930	3080	x	1970	2715	x	1680	4.561 m²	24630 m³/h	32841 m³/h	41051 m³/h	57471 m³/h	65681 m³/h
SDM 14	3040	x	2230	3080	x	2270	2715	x	1980	5.376 m²	29029 m³/h	38705 m³/h	48381 m³/h	67734 m³/h	77410 m³/h

Figura 13 - Selecção da UTA

Uma vez que o caudal de ar máximo corresponde à situação de Verão com 1.765Kg/s que são 5251.2 m³/h, escolhe-se o modelo SMD 05, com velocidade de 2m/s e com uma capacidade de 5715m³/h como apresentado na figura 13.

6.1.3 Humidificador

Com os cálculos efectuados anteriormente chegou-se ao valor de caudal de vapor necessário para se chegar às condições de insuflação de 13.3 kg_v/h. Assim, através do catálogo do Neptonic SKE Steam Humidifier, tem-se:



Model	Capacity (kg/h)	Voltage	Current (Amps)	Power (kW)	Steam Outlets	Weight (kg)	Duct Pressure
SKE 05(M)	5	230V 1ph	16	3.7	1 x 35mm	20	+/-1250Pa
		400V 3ph	5.5				
SKE 10(M)	10	230V 1ph	33	7.5	1 x 35mm	30	
		400V 3ph	11				
SKE 20(M)	20	400V 3ph	22	15	1 x 35mm	30	
SKE 30(M)	30	400V 3ph	33	22	2 x 35mm	30	
SKE 40(M)	40	400V 3ph	44	30	2 x 35mm	30	
SKE 50(M)	50	400V 3ph	53	36	2 x 51mm	50	
SKE 60(M)	60	400V 3ph	64	44	2 x 51mm	50	
SKE 80(M)	80	400V 3ph	87	60	3 x 51mm	50	
For static duct pressure higher than +/- 1250Pa, please consult JS Humidifier.							
Model	Dimension A (mm)	Dimension B (mm)	Dimension C (mm)	Dimension D (mm)	Dimension E (mm)		
SKE 05(M)	597	470	292	140	737		
SKE 10(M)	724	533	318	165	890		
SKE 20(M)	724	533	318	165	890		
SKE 30(M)	724	533	318	324	1048		
SKE 40(M)	724	533	318	324	1048		
SKE 50(M)	794	813	318	N/A	N/A		
SKE 60(M)	794	813	318	N/A	N/A		
SKE 80(M)	794	813	318	N/A	N/A		

Figura 14 - Escolha do humidificador

O humidificador escolhido vai ser o que está representado a vermelho, o SKE20, pois é o que apresenta um valor imediatamente superior ao necessário.

6.2 Insuflação/Exaustão

Dados:

$$Q_v = 5251.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{\text{espaço}} = 20.60 \times 31 \times 4.48 = 2847.49 \text{ m}^3$$

$$T_l = 14.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tem-se como limite máximo de velocidade do ar ao nível dos ocupantes 0,2 m/s e de diferença de temperatura de 1 °C entre esse ar e o ambiente.

Consideram-se as tubagens com secção rectangular, com todos os acessórios necessários à sua instalação, como adaptadores para grelhas, curvas, mancais, divisores de caudais, etc.

Admite-se que a velocidade na tubagem não deverá exceder os 2 m/s, para que não haja necessidade de insonorização.

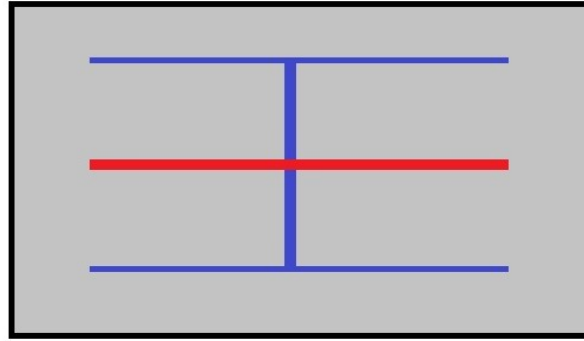


Figura 15 Instalação de tubagem

Na figura 15 está esquematizado como será feita a instalação das condutas no edifício, a azul estão representadas as condutas de insuflação, e a vermelho está representada a conduta de extracção de ar.

A insuflação será feita em 8 pontos, percorrendo o caudal uma conduta principal e, posteriormente, dividindo-se em duas ramificações secundárias. É importante referir que esta insuflação dar-se-á de forma forçada, ou seja, o ar será injectado na sala.

A exaustão far-se-á através de 4 pontos, dispostos apenas numa ramificação, como se pode ver a vermelho, na figura 15. Assume-se que a pressão no interior do edifício se mantém constante e que, por isso, não são necessárias grandes precauções relativamente à forma como é extraído o ar, uma vez que ao injectar-se ar na sala provoca-se uma circulação natural.

Os difusores, tanto para a insuflação como para a exaustão, encontram-se igualmente espaçados.

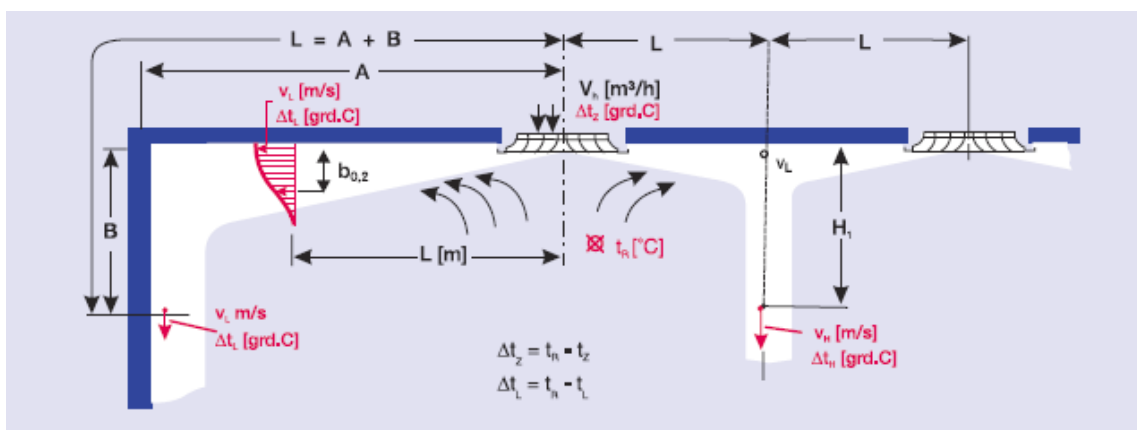


Figura 16- Esquema de circulação de ar

Legenda da figura 16:

Q_v (m³/h) : caudal volúmico;

L (m) : Alcance (quando o jacto é dirigido contra parede vertical, pode ser aplicado:

$L = A + B$;

v_L (m/s) : Velocidade do jacto à distância L ;

v_H (m/s) : Velocidade vertical do jacto à distância H_1 no caso de dois jactos de ar dirigidos um contra o outro;

Δt_L (oC) : Diferença máxima de temperatura entre o ar do jacto (na distância L) e a do ambiente;

Δt_z (oC) : Diferença de temperatura entre o ar insuflado e a do ambiente;

$$i = \text{indução} = \frac{\text{volume total de ar movimentado}}{\text{volume e ar insuflado}};$$

$b_{0,2}$ (m) : Altura do jacto entre o ponto de velocidade máxima (v_L) e 0,2 m/s (v_b).

Para o nosso problema temos, então:

$$Qv = \frac{5251.2}{8} = 656.4 m^3/h$$

$$L = 2.5m$$

$$v_L = 0.3m/s$$

$$\Delta t_z = 10.5^\circ C$$

$$\frac{\Delta t_L}{\Delta t_z} = \frac{1}{10.5} = 0.095$$

Partindo do gráfico que é dado pelo fabricante, podemos retirar os seguintes dados:

$$b_{0,2} = 0.17m$$

$$v_b = 0.2m/s$$

$$v_{eff} = 5.1m/s$$

$$F_{eff} = 0.0381m^2$$

$$\text{Capacidade do difusor} = 699.5m^3/h$$

Assim, pelo gráfico pode-se identificar qual o tamanho a utilizar, sendo que neste caso é o tamanho 4 para os difusores, que possuem um diâmetro de 360 mm.

Em relação à escolha das grelhas de exaustão, não há necessidade de efectuar o mesmo tipo de cálculos, uma vez que, como foi referido, o ar que entra será aproximadamente igual ao ar que sai. Desta forma essas grelhas terão sensivelmente a mesma dimensão das de insuflação, ainda que possam ser rectangulares.



Figura 17 - Exemplo de grelha do difusor (à esq.) e de exaustão (à dir.)

6.3 Condutas

Respeitando-se o caudal que é necessário insuflar e a velocidade admitida de 2.0m/s para a circulação de ar dentro das condutas, calcularam-se as áreas das secções das condutas e respectivas dimensões.

6.3.1 Conduta principal

Na conduta principal (que vem da UTA), o caudal de ar circulante corresponde à totalidade de ar a ser insuflado. Desta forma:

$$Qv = 5251.2 \text{ m}^3/\text{h} = 1.459 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{Qv}{v} = \frac{1.459}{2} = 0.73 \text{ m}^2$$

Admitindo que a secção da conduta é quadrada, é possível calcular a medida do seu lado:

$$l = \sqrt{0.73} = 0.85 \text{ m}$$

Como na caixa-de-ar do tecto falso só temos disponível 0.50 m optou-se por uma conduta rectangular, com uma altura de 0.45 m e uma largura de 1.62 m

6.3.2 Conduta intermédia

Nesta conduta haverá, necessariamente, uma divisão do caudal:

$$A = \frac{Qv}{v} = \frac{1.459/2}{2} = 0.365 \text{ m}^2$$

Partindo mais uma vez do princípio que a conduta a secção da conduta é quadrada:

$$l = \sqrt{0.365} = 0.60 \text{ m}$$

Como na caixa-de-ar do tecto falso só temos disponível 0.50 m optou-se por uma conduta rectangular, com uma altura de 0.45 m e uma largura de 0.81 m

6.3.3 Conduta final

Na conduta final (onde estarão instalados os difusores) circulará, obrigatoriamente, $\frac{1}{4}$ do caudal total:

$$A = \frac{Qv}{v} = \frac{1.459/4}{2} = 0.182 \text{ m}^2$$

Continuando a conduta a ter secção quadrada, tem-se:

$$l = \sqrt{0.182} = 0.43 \text{ m}$$

6.3.4 Conduta de exaustão

Relativamente a esta conduta única, o caudal de ar extraído será dividido em dois e, posteriormente, unido numa só conduta que corresponde à recirculação. Assim:

$$A = \frac{Qv}{v} = \frac{1.459/2}{2} = 0.365 \text{ m}^2$$

$$l = \sqrt{0.365} = 0.60 \text{ m}$$

Como na caixa-de-ar do tecto falso só temos disponível 0.50 m optou-se por uma conduta rectangular, com uma altura de 0.45 m e uma largura de 0.81 m

6.3.5 Conduta principal de exaustão

É da conduta principal de exaustão que sai o caudal para a recirculação na UTA.

$$A = \frac{Qv}{v} = \frac{1.459}{2} = 0.73 \text{ m}^2$$

Admitindo que a secção da conduta é quadrada, é possível calcular a medida do seu lado:

$$l = \sqrt{0.73} = 0.85 \text{ m}$$

Como na caixa-de-ar do tecto falso só temos disponível 0.50 m optou-se por uma conduta rectangular, com uma altura de 0.45 m e uma largura de 1.62 m

Salienta-se que a união dos caudais dos dois troços de exaustão é feita através de três acessórios, dois pescoços de cavalo e um divisor de caudais, para evitar o choque directo entre os dois caudais. Assim, tanto as grelhas como as condutas de exaustão podem estar ao mesmo nível das condutas dos difusores.

Capítulo 7 - Conclusão

7.1 Conclusão

A aplicação informática que permite o cálculo das cargas térmicas e potências de um edifício é uma boa ferramenta de trabalho. Facilita em muito, a aplicação prática da regulamentação.

O preenchimento dos dados de entrada é extremamente complexo, podendo por isso levar a erros fortuitos por algum mau entendimento das soluções de construção apresentadas pelo programa. Por outro lado as fichas de resultados do RCCTE não se conseguem obter caso o edifício esteja abrangido pelo RSECE, quer devido à potência instaladas ou à área útil.

No que diz respeito ao STE, a extracção de resultados é insuficiente, pois a análise gráfica não é clara por não permitir fazer a leitura dos gráficos com exactidão. Contornou-se este problema tendo acesso directo à base de dados, que permitiu assim aceder aos valores máximo e mínimo das temperaturas exteriores e localizá-las no tempo.

A implementação da regulamentação energética em vigor em Portugal vem permitir elevar os padrões de construção existentes no que diz respeito à redução das necessidades de energia nos edifícios. Tendo em conta o aumento do consumo de energia resultante do elevado nível de conforto a que nos habituámos e à escassez das fontes energéticas tradicionais, foi importante encontrar soluções que permitem inverter esta situação. Assim a regulamentação veio dar resposta positiva a estes problemas, exigindo a sua aplicação a todos os novos edifícios ou a todos os que sofram grandes remodelações.

No presente trabalho pretendeu-se analisar através do programa RCCTE-STE, pela aplicação do RSECE, quais as alterações que têm significado nas necessidades nominais de energia e nas potências de simulação. Assim alterou-se a densidade de ocupação, a densidade de iluminação e a densidade de equipamento.

Na alteração da densidade de ocupação, foi onde se obteve uma variação mais significativa no que diz respeito às potências nominais de simulação. O facto de o valor do caudal de ar mínimo regulamentar ser obtido em função da área útil ou do número de ocupantes, origina que o limite mínimo até um determinado número de ocupantes seja sempre constante em função da área. A partir daí, o número de ocupantes é determinante, fazendo que o valor do caudal mínimo de ar novo aumente significativamente. É esta a alteração mais significativa encontrada.

Ao fazer variar a densidade de iluminação e a densidade de equipamento, em ambos se obtêm resultados idênticos. Como era de esperar, as potências nominais de arrefecimento aumentam e as potências nominais de aquecimento diminuem. A variação de valores é significativa para situações que não correspondem à realidade, sendo por isso considerados esses valores despropositados.

Em relação às alterações efectuadas no programa RCCTE-STE, com base no RCCTE, fez-se alterar os parâmetros da localização, do pé direito médio, da altitude e distância ao litoral, da orientação e área dos envidraçados.

A alteração da localização do edifício influenciou as potências nominais de simulação e as necessidades nominais de energia, de tal forma que foi necessário fazer alterações, algumas um pouco extremas, para que o edifício pudesse ficar regulamentar em todas as localizações.

A diminuição do pé direito médio leva à redução do volume de ar e à diminuição da área das paredes em contacto com o exterior. Assim, tanto as necessidades nominais de energia como as potências nominais de simulação descem linearmente, tanto no aquecimento como no arrefecimento.

A distância ao litoral não influencia qualquer resultado da potência nominal de simulação. A altitude altera as necessidades nominais de energia, mas não as potências nominais de simulação.

Em relação à orientação dos envidraçados, não existiram alterações significativas nas potências nominais de simulação. Este facto deve-se à existência do isolamento nos vãos envidraçados extremamente eficientes, bem como à existência de um elemento de obstrução da radiação solar elevado. Se não fosse esse facto, o aumento seria bastante maior. Em relação à área de envidraçados, o mesmo se pode concluir. No entanto, existe um aumento contínuo nas potências nominais de aquecimento e arrefecimento que era esperado.

O tipo de construção no que respeita aos materiais utilizados, à orientação dos edifícios, à escolha da orientação e da área de envidraçados tem a ver com a localização específica desse edifício. Nas várias zonas climáticas, cada local deverá ser estudado em termos de materiais que melhor se adaptem ao seu clima. Há que aproveitar a orientação solar para que a radiações solares sejam um factor de que possamos usufruir em benefício do conforto, utilizando o mínimo de energia possível.

Em relação ao equipamento e à instalação escolhida, o seu dimensionamento foi efectuado conforme os cálculos apresentados. Foi projectado de forma a fazer-se o melhor aproveitamento do equipamento no que diz respeito às necessidades do edifício.

Por fim, e em relação a esta tese de dissertação, foram adquiridos conhecimentos aprofundados em relação à regulamentação em vigor em Portugal, relativamente à eficiência energética em edifícios. Por outro lado foram abertos novos horizontes no que diz respeito a toda a questão da redução dos consumos de energia, que é necessário implementar desde já sobre pena de haver consequências graves no futuro.

7.2 Perspectivas de trabalho futuro

No âmbito do trabalho apresentado e numa perspectiva para outras teses de mestrado, penso que seria importante estudar o custo benefício da substituição de equipamentos por outros mais eficientes em sistemas de ventilação. Seria também interessante estudar vários edifícios de escritórios existentes, de maneira a analisar o seu funcionamento em comparação com os dados pré-definidos pelo regulamento.

Referências Bibliográficas

- [1] Oliveira Fernandes E., Cortesão, C., Maldonado E e Abrantes V.; “Passive solar Technologies in Portugal, Regional and Thermal Perspectives – A Monograph from Portugal”, International Conference on Passive Low Energy Architecture, pp129 – 167, Pécz, Hungary, 1986
- [2] Agência Municipal do Energia do Seixal – Ar Condicionados
- [3] Directiva 2002/91/CE
- [4] DECO 2008
- [5] Directiva 2010/31/EU
- [6] Livro Verde, Estratégia europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura, Bruxelas, 2006
- [7] Comunicação da Comissão – Eficiência Energética: Atingir o objectivo de 20%, Bruxelas 2008
- [8] Araújo Luís, Almeida Manuela, “Thermal Inertia Walls in Portuguese Traditional Rock For Passive Solar Heating of Buildings”, Climamed Congress, France, 2006
- [9] Direcção Geral de Energia e Geologia, disponível em: <http://www.dgge.pt/>
- [10] Decreto-lei nº78/2006 – “Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do ar”.
- [11] Caderno temático – SGS, sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior dos edifícios
- [12] Teixeira, João Filipe Barreto Neves Lopes; Dissertação apresentada na FCT UNL para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Estudo do comportamento de um edifício de habitação sujeito a ventilação natural e forçada, Lisboa, 2009
- [13] Agência para a Energia, ADENE, consultado em Julho de 2011, disponível em: <http://www.adene.pt>

- [14] Decreto-lei nº80/2006 – “Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios”.
- [15] Decreto-lei nº79/2006 – “Regulamento dos Sistemas energéticos de Climatização em Edifícios”.
- [16] ITE 50, Carlos A. Pina dos Santos, Luís Matias, Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, LNEC, 2007
- [17] Catálogo geral da “Sandometal” disponível em: <http://www.sandometal.pt/>;
- [18] Catálogo de condutas da “Sandometal” disponível em: <http://www.sandometal.pt/>;
- [19] Catálogo de difusores da “Trox Technik” disponível em: http://www.troxtechnik.com/en/products/air_handling_units/index.html;
- [20] Catálogo de *chillers* da “Daikin” disponível em: <http://www.daikin.pt/>;
- [21] Catálogo de humidificadores da “Neptronik” disponível em: <http://www.neptronic.com/Humidifiers/Humidifiers.aspx>.

Anexos

Anexo I

Os resultados obtidos pelo programa RCCTE-STE

RESULTADOS

▶ síntese do Edifício

O edifício encontra-se regulamentar

	Necessidades nominais de energia* [kWh/m2.ano]		80%	Necessidades de energia máximas [kWh/m2.ano]
	U			
Aquecimento	39.00	<	40.26	50.32
Arrefecimento	7.22	<	17.60	22.00

	IEE	valor de referência limite
	[kgep/m2.ano]	[kgep/m2.ano]
tipologia U1	23.4	35.0
Total	23.4	35.0

	Potência a instalar [kW]		Potência máxima a instalar [kW]	Potência nominal de simulação [kW]	Justificações (se necessário)
			CL		
Aquecimento	30.00	>	29.85	21.32	
Arrefecimento	30.00	<=	45.84	32.74	

FICHA 1

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE), Demonstração da Conformidade Regulamentar para Emissão de Licença ou Autorização de Construção, nos termos do artigo 12º, nº 2, alínea a

Câmara Municipal de:	Almada
Edifício:	Edifício Branco
Localização:	Situado na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural
Nº de Fracções Autónomas:	1
Técnico Responsável:	Nuno Miguel Dias de Oliveira
Inscrito na:	Ordem dos Engenheiros
Nº:	30424
Data:	12-09-2011

Mapa de Valores Nominais para o Edifício

Zona Climática:	I1	V1	Altitude (m):	60	
Graus Dia (°C):	1160.00	Duração Aquec. (meses):	5.30	Temp. de Verão (°C):	21

[illegible]

81201-50647-53866

1

FICHA 2

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE), Levantamento

Dimensional, nos termos do artigo 12º, nº 2, alínea b, para uma única fracção autónoma ou para um corpo de um edifício

Edifício:	Edifício Branco		
Fracção Autónoma:	Única		
Área Útil de Pavimento (m²):	635.60	Pé Direito Médio (m):	4.48

[illegible]

FICHA 2

Coeficiente de Absorção			
Paredes	Cob. em Terraço	Cob. em Desvão Vent.	Cob. em Desvão não Vent.
0.40	0.40		

[illegible]

81201-50647-53866

3

FICHA 3

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE), Demonstração de Satisfação dos Requisitos Mínimos para a Envolvente de Edifícios, nos termos do artigo 12º, nº 2, alínea d

Edifício:	Edifício Branco
Fracção Autónoma:	Única
Inércia Térmica:	Forte
Técnico Responsável:	Nuno Miguel Dias de Oliveira
Data:	12-09-2011
Assinatura:	

a) U Máximo da Envolvente Opaca

	Soluções Adoptadas (W / m².°C)	Valores Máximos Regulamentares (W / m².°C)
Paredes Exteriores:	0.38	1.80
Coberturas Exteriores:	0.22	1.25
Pavimentos Exteriores:	0.00	1.25
Paredes Interiores:	0.00	2.00
Coberturas Interiores:	0.00	1.65
Pavimentos Interiores:	0.00	1.65

b) Factor Solar Máximo dos Envidraçados

	Soluções Adoptadas	Valores Máximos Regulamentares
Envidraçados Verticais Exteriores:	0.18	0.56
Envidraçados Horizontais Exteriores:	0.00	0.56

c) U Máximo das Pontes Térmicas Planas

	Soluções Adoptadas (W / m².°C)	Valores Máximos Regulamentares (W / m².°C)
Pontes Térmicas Planas das Paredes Exteriores:	0.44	0.75
Pontes Térmicas Planas das Coberturas Exteriores:	0.00	1.25

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCIV.1a

Perdas associadas à Envolvente Exterior

		Área - A(m ²)	U(W/m ² °C)	U.A(W/°C)
Paredes				
	PextEste	116.40 X	0.38 =	44.23
	PextNorte	80.60 X	0.38 =	30.63
	PextOeste	116.40 X	0.38 =	44.23
	PextSul	80.60 X	0.38 =	30.63
			TOTAL	149.72
Pontes térmicas planas das paredes				
	P_PTPEste	4.48 X	0.44 =	1.97
	P_PTPNorte	2.69 X	0.44 =	1.18
	P_PTPOeste	4.48 X	0.44 =	1.97
	P_PTPSul	2.69 X	0.44 =	1.18
			TOTAL	6.30
Coberturas horizontais, em terraço				
	COB2	675.21 X	0.22 =	148.55
			TOTAL	148.55
Pavimentos em contacto com o terreno				
	Pav1	106.00 X	1.80 =	190.80
			TOTAL	190.80
Pontes térmicas lineares				
	P_PTL	17.92 X	0.20 =	3.58
	P_PTL_J	116.40 X	0.00 =	0.00
	P_PTL_T	106.00 X	0.60 =	63.60
			TOTAL	67.18
Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma (W/°C)				562.55

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCIV.1c

Perdas associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

	Área - A(m²)	U(W/m² °C)	U.A(W/°C)
Verticais			
	Env_E 18.00 X	3.70 =	66.60
	Env_N 9.00 X	3.70 =	33.30
	Env_O 18.00 X	3.70 =	66.60
	Env_S 9.00 X	3.70 =	33.30
		TOTAL	199.80
Perdas pelos vãos envidraçados exteriores da Fracção Autónoma (W/°C)			199.80

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCIV.1d

Perdas associadas à Renovação do Ar

Área Útil de pavimento - $A_p(m^2)$	635.60
	X
Pé-direito médio (m)	4.48
	=
Volume interior - $V(m^3)$	2847.49

VENTILAÇÃO NATURAL

Cumprir NP 1037-1 Não

Se SIM

RPH

Se NÃO

Classe da caixilharia Sem classificação

Caixas de estore Não

Classe de exposição Exp 2

Aberturas auto-reguladas Não

Área de Envidraçados > 15% A_p Não

Portas exteriores bem vedadas Sim

RPH

0.95

Taxa de renov. nominal 0.90

VENTILAÇÃO MECÂNICA

Caudal de insuflação - $V_{ins}(m^3/h)$ Caudal extraído - $V_{ev}(m^3/h)$ Diferença entre V_{ins} e V_{ev} (m^3/h)Volume - $V(m^3)$ $|(V_{ins} - V_{ev})/V|$ $V_f(m^3/h)$ Infiltrações - $V_x(m^3/h)$

Recuperador de calor

 η

RPH

Taxa de renov. nominal $((V_f / V) + V_x)(1 - \eta)$

Consumo de electricidade para os ventiladores

Volume 2847.49

X

Taxa de renov. nominal 0.90

X

0.34

=

TOTAL (W/°C) 871.33

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCIV.1e

Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares

Orientação	Tipo	Área - A(m²)	Xj(-)	g(-)	Fs(-)	Fg(-)	Fw(-)	Ae(m²)
Este	Duplo	18.00 X	0.56 X	0.40 X	0.90 X	0.70 X	0.90 =	2.29
Norte	Duplo	9.00 X	0.27 X	0.40 X	0.90 X	0.70 X	0.90 =	0.61
Oeste	Duplo	18.00 X	0.56 X	0.40 X	0.90 X	0.70 X	0.90 =	2.29
Sul	Duplo	9.00 X	1.00 X	0.40 X	0.90 X	0.70 X	0.90 =	2.04
TOTAL								7.23

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m²)

7.23

Radição Incidente num envidraçado a Sul (GSul) (KWh/m².mês) na Zona II

108.00

Duração da Estação de Aquecimento (meses)

5.30

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

4138.45

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (W/m²)

7.00

Duração da Estação de Aquecimento (meses)

5.30

Área Útil de pavimento (m²)

635.60

Ganhos Internos Brutos (kWh/ano)

16978.15

Ganhos Totais Úteis

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

21116.60

Necessidades Brutas de Aquecimento

45481.65

Y

0.46

Inércia do edifício

Forte

0.46

Factor de utilização de ganhos solares

0.98

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

21116.60

Ganhos totais uteis (kWh/ano)

20694.27

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCIV.1f

Valor máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA

Das FCIV.1a e 1c (Áreas)	m ²
Paredes Exteriores	408.34
Coberturas Exteriores	675.21
Pavimentos Exteriores	0.00
Envidraçados Exteriores	54.00
Da FCIV.1b (Áreas Equivalentes)	
Paredes Interiores	0.00
Coberturas Interiores	0.00
Pavimentos Interiores	0.00
Envidraçados Interiores	0.00
Área Total	1137.55
Volume (da FCIV.1d)	2847.49
FF	0.40
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1160.00
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas Ni(kWh/m ² .ano)	50.32

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCIV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FCIV.1a)	562.55
	+
Envolvente Interior (da FCIV.1b)	0.00
	+
Vãos Envidraçados (da FCIV.1c)	199.80
	+
Renovação de Ar (da FCIV.1d)	871.33
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	1633.68
	X
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1160.00
	X
	0.024
	+
Consumo dos ventiladores	0.00
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	45481.65
	-
Ganhos Totais Úteis (da FCIV.1e)	20694.27
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	24787.38
	/
Área Útil de pavimento (m²)	635.60
	=
Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	39.00
	<=
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni (kWh/m².ano)	50.32

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCV.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (FCIV.1a) (W/°C)	156.02
	+
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (FCV.1b) (W/°C)	0.00
	+
Perdas associadas às coberturas exteriores (FCV.1b) (W/°C)	141.79
	+
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (FCV.1b) (W/°C)	199.80
	+
Perdas associadas à renovação de ar (FCIV.1d) (W/°C)	871.33
	=
Perdas específicas totais (W/°C)	1368.94
Temperatura interior de referência (°C)	25.00
	-
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (°C)	21.00
	=
Diferença de temperatura interior-exterior (°C)	4.00
	X
Perdas específicas totais (W/°C)	1368.94
	X
	2.928
	=
Perdas térmicas totais (kWh)	16033.03

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCV.1b

Perdas associadas a Pavimentos, Coberturas e Vãos Envidraçados Exteriores

	Área - A(m²)	U(W/m² °C)	U.A(W/°C)
Coberturas horizontais, em terraço			
COB2	675.21 X	0.21 =	141.79
		TOTAL	141.79
Envidraçados Verticais			
Env_E	18.00 X	3.70 =	66.60
Env_N	9.00 X	3.70 =	33.30
Env_O	18.00 X	3.70 =	66.60
Env_S	9.00 X	3.70 =	33.30
		TOTAL	199.80
			341.59

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCV.1c

Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

		Área - A(m²)	U(W/m² °C)	$\alpha(-)$	U.A. α (W/°C)
Norte					
	P_PTPNorte	2.69 X	0.44 X	0.40 =	0.47
	PextNorte	80.60 X	0.38 X	0.40 =	12.25
				TOTAL	12.72
					X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)					200.00
					X
					0.04
					=
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					101.76
Este					
	P_PTPEste	4.48 X	0.44 X	0.40 =	0.79
	PextEste	116.40 X	0.38 X	0.40 =	17.69
				TOTAL	18.48
					X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)					420.00
					X
					0.04
					=
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					310.46
Sul					
	P_PTPSul	2.69 X	0.44 X	0.40 =	0.47
	PextSul	80.60 X	0.38 X	0.40 =	12.25
				TOTAL	12.72
					X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)					380.00
					X
					0.04
					=
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					193.34
Oeste					
	P_PTPOeste	4.48 X	0.44 X	0.40 =	0.79
	PextOeste	116.40 X	0.38 X	0.40 =	17.69
				TOTAL	18.48
					X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)					430.00
					X
					0.04
					=
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					317.86
Horizontal					
	COB2	675.21 X	0.21 X	0.40 =	56.72
				TOTAL	56.72
					X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)					760.00
					X
					0.04
					=
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					1724.29
Total dos ganhos solares pela envolvente opaca exterior (kWh)					2647.71

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCV.1d

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

	Área - A(m²)	g(-)	Fs(-)	Fg(-)	Fw(-)	Ae(m²)
Norte						
	9.00 X	0.25 X	0.90 X	0.70 X	0.80 =	1.13
					TOTAL	1.13
						X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)						200.00
						=
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)						226.00
Este						
	18.00 X	0.25 X	0.90 X	0.70 X	0.85 =	2.41
					TOTAL	2.41
						X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)						420.00
						=
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)						1012.20
Sul						
	9.00 X	0.25 X	0.90 X	0.70 X	0.75 =	1.06
					TOTAL	1.06
						X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)						380.00
						=
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)						402.80
Oeste						
	18.00 X	0.25 X	0.90 X	0.70 X	0.85 =	2.41
					TOTAL	2.41
						X
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m²)						430.00
						=
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)						1036.30
Total dos ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)						2677.30

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCV.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (W/m ²)	7.00
	X
Área útil de pavimento (m ²)	635.60
	X
	2.928
	=
Ganhos Internos totais	13027.26

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCV.1f

Ganhos Totais na Estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (FCV.1d) (kWh)	2677.30
	+
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (FCV.1c) (kWh)	2647.71
	+
Ganhos internos (FCV.1e) (kWh)	13027.26
	=
Ganhos Internos totais	18352.27

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

Folha Cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos térmicos totais (FCV.1 f) (kWh)	18352.27
	/
Perdas térmicas totais (FCV.1a) (kWh)	16033.03
	=
Y	1.14
Inércia do Edifício (a)	4.20
	1.00
	-
Factor de utilização dos ganhos	0.75
	=
	0.25
	X
Ganhos térmicos totais (FCV.1 f) (kWh)	18352.27
	=
Necessidades Brutas de Arrefecimento (kWh/ano)	4588.07
	+
Consumo dos ventiladores	0.00
	=
TOTAL (kWh/ano)	4588.07
	/
Área Útil de pavimento (m²)	635.60
	=
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc (kWh/m².ano)	7.22
	<=
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv (kWh/m².ano)	22.00

FICHA 4

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE), Demonstração da
Conformidade Regulamentar para Emissão de Licença ou Autorização de Utilização, nos termos do artigo 12º, nº 3

Construção conforme o projecto: ☐ Sim: ☐ Não: ☐

Técnico Responsável pela Direcção Técnica da Obra

Técnico Responsável:
Morada:
Membro da:
Nº:
Data:

Anexo II

Cálculo dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca

- Paredes

As paredes exteriores do edifício são compostas por uma parede dupla de alvenaria constituída por pano de tijolo furado de 15cm pelo interior e um pano de tijolo furado de 11cm, pelo exterior, com uma caixa-de-ar de 6cm, preenchida parcialmente com um isolamento XPS de 5cm. O acabamento final das paredes será tanto no interior, como no exterior, em argamassa de cimento rebocado tendo uma espessura de 2cm, devidamente pintada.

Constituição	e [m]	λ [w/m.°C]	R [m ² .°C/W]
R _{se}			0.040
reboco	0.020	0.800	0.025
tijolo 11 cm	0.110	0.407	0.270
isolamento	0.060	0.037	1.622
caixa de ar	0.050	0.455	0.110
tijolo 15 cm	0.150	0.385	0.390
reboco	0.020	0.300	0.067
R _{si}			0.130
SUM	0.410		2.653

U [W/m ² .°C]
0.377

UMax [W/m ² .°C] RCCTE
1.8
1.6
1.45

- Cobertura

A cobertura é um terraço invertido, constituído por 15cm de brita, 15cm de isolamento XPS, uma laje de betão de 20cm e um tecto falso com uma caixa-de-ar com 50cm e uma placa de gesso cartonado de 2cm.

Constituição	e [m]	λ [w/m.°C]	Ascendente	Descendente
			R [m ² .°C/W]	R [m ² .°C/W]
R _{se}			0.040	0.040
Brita	0.150	2.000	0.075	0.075
isolamento XPS	0.150	0.037	4.054	4.054
Laje de Betão	0.200	2.000	0.100	0.100
caixa de ar	0.500	3.125	0.160	0.230
placa de gesso cartonado	0.020	0.250	0.080	0.080
R _{si}			0.100	0.170
SUM	1.020		4.609	4.749

U [W/m ² .°C]
0.135
0.217
U _{Max} [W/m ² .°C] RCCTE
1.25
1.25
1
1
0.9
0.9

- Pavimento

O pavimento é constituído por uma laje de betão de 20cm, um isolamento XPS de 12cm, uma betonilha de 3cm e um revestimento de cerâmica de 2cm.

Constituição	e [m]	λ [W/m.°C]	Ascendente	Descendente
			R [m ² .°C/W]	R [m ² .°C/W]
R_si			0.100	0.170
revestimento - cerâmica	0.02	1.3	0.015	0.015
betonilha	0.03	1.3	0.023	0.023
Isolamento XPS	0.12	0.037	3.243	3.243
Laje de Betão	0.20	2.0	0.100	0.100
SUM	0.370		3.482	3.552

U [W/m ² .°C]	
Ascendente	0.287
Descendente	0.282

U _{Max} [W/m ² .°C] RCCTE	
1.8	I1
1.6	I2
1.45	I3

Cálculo dos coeficientes da transmissão térmica das pontes térmicas

- Planas

As Pontes térmicas planas da envolvente do edifício são constituídas por um pilar de betão com 18cm de espessura, um isolamento de XPS de 6cm, um pano de tijolo de 11cm, e de ambos os lados devidamente rebocada e pintada.

Constituição	e [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	r [Kg/m ³]	Mt [Kg/m ²]	Mi [Kg/m ²]
R_se			0.040			
reboco	0.020	0.800	0.025	1600	32	
tijolo 11 cm	0.110	0.407	0.270	1200	132	
isolamento	0.060	0.037	1.622	35	2.10	
betão	0.180	2.0	0.090	2300	414	
reboco	0.020	0.300	0.067	1600	32	
R_si			0.130			
SUM	0.390		2.243		612.100	580.100

U [W/m ² .°C]	
0.446	

U _{Max} [W/m ² .°C] RCCTE	
1.8	I1
1.6	I2
1.45	I3

- Lineares

As pontes térmicas lineares que existem no edifício de referência são de três tipos:

- ligação da fachada com as ombreiras das janelas;
- ligação entre as duas paredes;
- ligação da fachada com o pavimento térreo.

Todas as pontes térmicas lineares estão mencionadas e exemplificadas no DL n°80/2006. Se não estiverem mencionadas nos exemplos utiliza-se um valor convencional de $\Psi=0.5\text{W/m}^\circ\text{C}$.

Cálculo dos Envidraçados

Os envidraçados escolhidos são em caixilharia metálica com corte térmico, com vidro duplo, e lâmina de ar de 6mm. O coeficiente de transmissão térmica foi retirado do ITE 50.

B – COM CORTE TÉRMICO							
Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m². °C)]	$U_{wdn}^{(2)}$ [W/(m². °C)]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
						Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	—	5,4	4,5	4,1	3,6
	2 (vidro duplo)		6	3,7	3,3	3,1	2,7
			16	3,3	2,9	2,8	2,5
			16 low e ⁽³⁾	3,0	2,7	2,6	2,3

Anexo III

Diagrama Verão

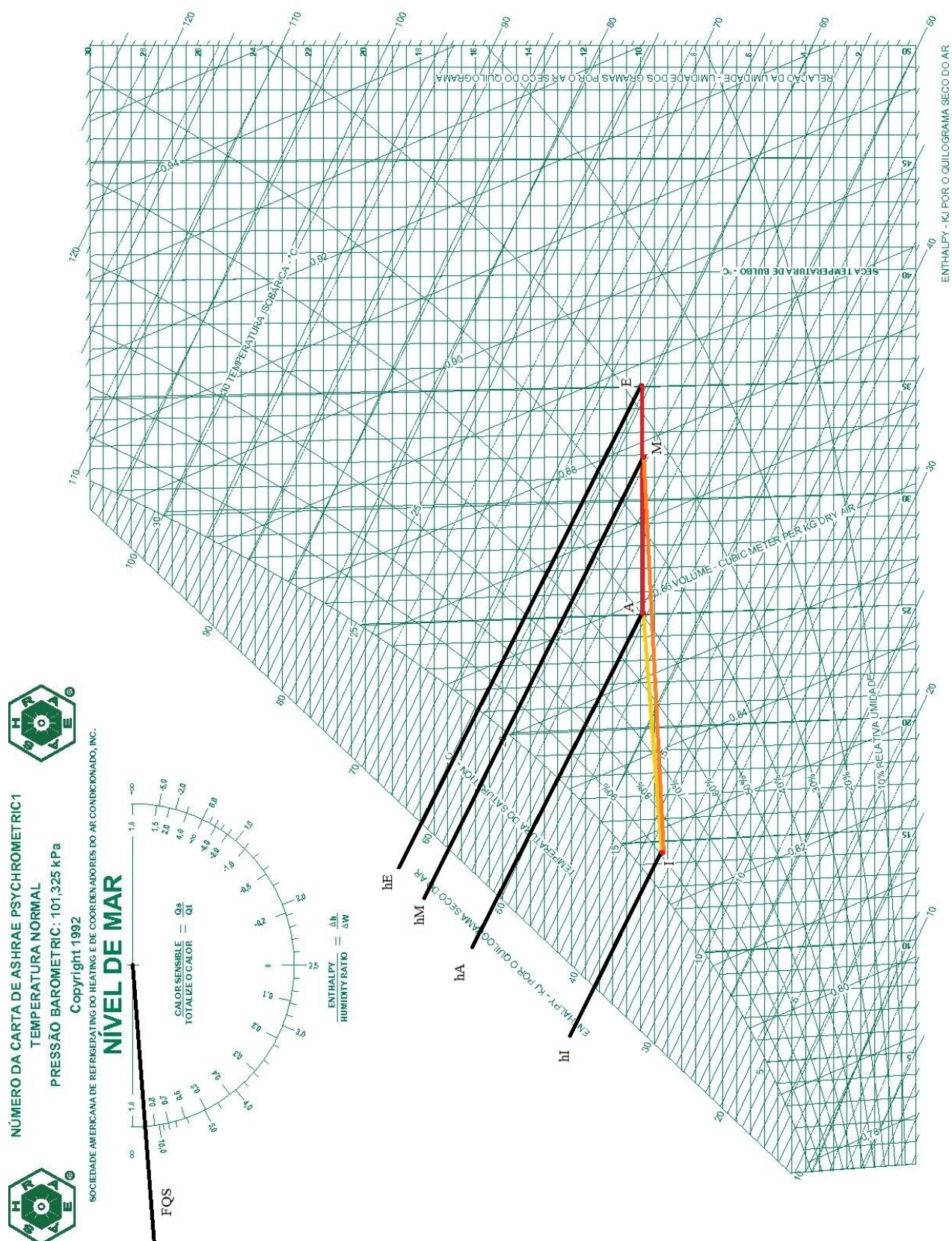
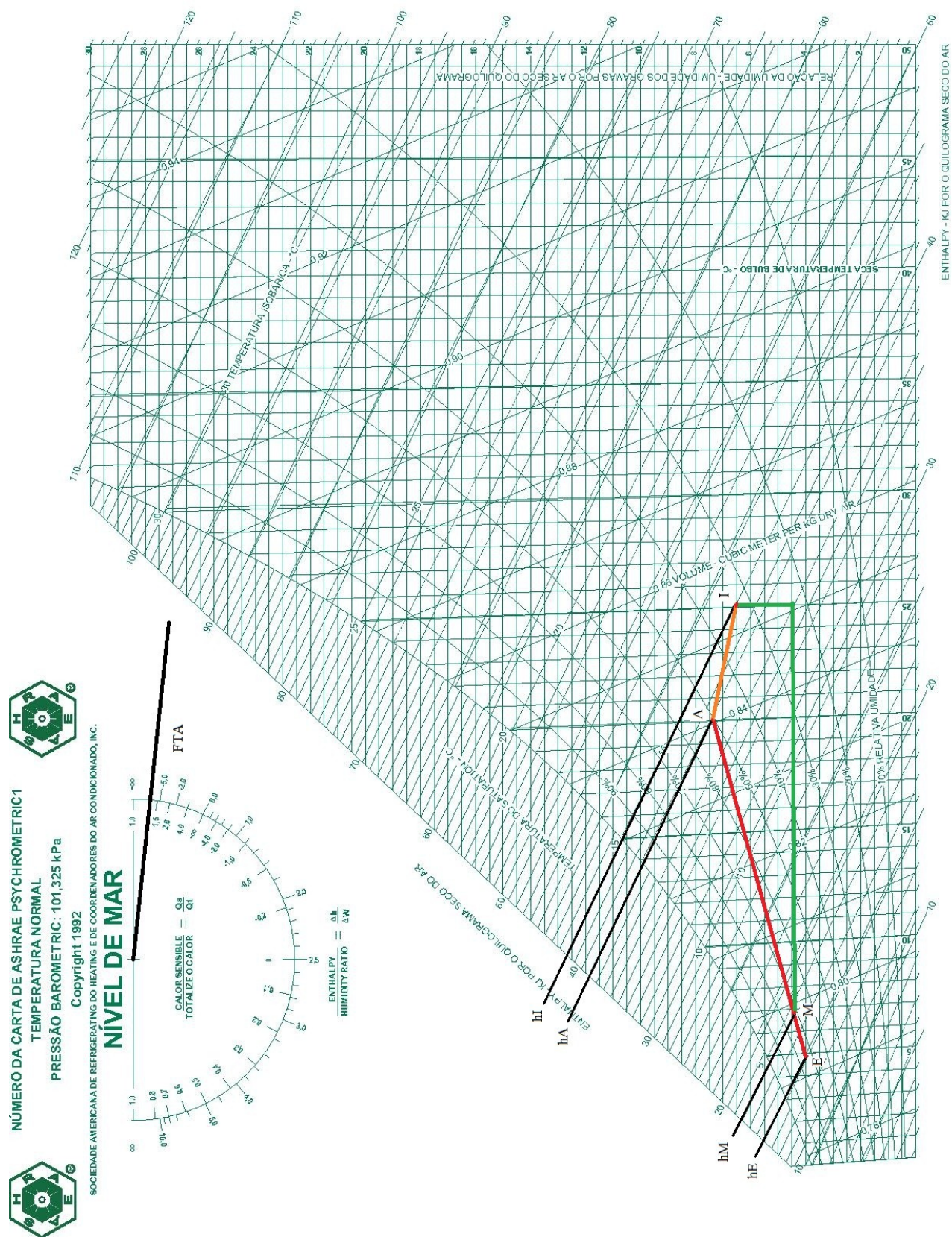


Diagrama Inverno



Anexo IV

EWYQ130DAYN - Portuguese - PT

http://www.daikin.pt/mdm_includes/specs.jsp?id=EWYQ130DAYN&s...

EWYQ130DAYN

Exportar

Nome do Produto EWYQ130DAYN

Capacidade de arrefecimento	Nom.			kW	136 (1)
Capacidade de aquecimento	Nom.			kW	149 (4)
Escalaões de capacidade				%	0-25-50-75-100
Potência nominal	Arrefecimento	Nom.		kW	47.6 (2)
	Aquecimento	Nom.		kW	49.6 (5)
EER					2.86
COP					3.00
ESEER					4.31
Dimensões	Unidade	Altura	mm		2,311
		Largura	mm		2,000
		Profundidade	mm		2,631
Peso	Unidade			kg	1,550
	Peso em funcionamento			kg	1,567
Permutador de calor da água	Tipo				Chapa forjada, uma por unidade
	Volume de água mínimo no sistema			l	334 (3)
	Caudal de água	Mín.		l/min	195
	Caudal de água nominal	Arrefecimento		l/min	390
		Aquecimento		l/min	427
	Perda de carga de água nominal	Arrefecimento	Total	kPa	43
		Aquecimento	Total	kPa	51
	Permutador de ar	Tipo			
Ventilador	Caudal de ar	Nom.		m³/min	800
	Velocidade			rpm	900
Compressor	Tipo				Compressor de tipo scroll
	Quantidade_				4
Nível de potência sonora	Arrefecimento	Nom.		dBa	88
Limite de funcionamento	Lado da água	Arrefecimento	Mín.	°CDB	-10
			Máx.	°CDB	25
		Aquecimento	Mín.	°CDB	25
			Máx.	°CDB	50
	Lado do ar	Arrefecimento	Mín.	°CDB	-15
			Máx.	°CDB	43
		Aquecimento	Mín.	°CDB	-10
			Máx.	°CDB	21
Fluido frigorígeno	Tipo				R-410A
	Controlo				Válvula de expansão electrónica
	Circuitos	Quantidade			2
Circuito de refrigeração	Carga			kg	22
Circuito de refrigeração 2	Carga			kg	22
Ligações de tubagens	Entrada / saída do permutador de calor da água				3" OD

EWYQ130DAYN - Portuguese - PT

http://www.daikin.pt/mdm_includes/specs.jsp?id=EWYQ130DAYN&s...

	Esgoto do permutador de calor da água		1/2"G
Alimentação eléctrica	Fase		3~
	Frequência	Hz	50
	Tensão	V	400
Compressor	Método de arranque		Directo on-line
	Aquecedor do cárter	W	65
Notas			Arrefecimento: temp. da água de entrada do evaporador 12°C; temp. da água de saída do evaporador 7°C; temp. ar ambiente 35°C; norma: Eurovent
			Arrefecimento: temp. da água de entrada do evaporador 12°C; temp. da água de saída do evaporador 7°C; temp. ar ambiente 35°C; norma: Eurovent; Compressores de entrada de potência ventiladores circuito eléctrico
			Volume de água mínimo necessário para as definições standard do termostato e em condições nominais.
			Aquecimento: temp. da água de entrada do condensador 40°C; temp. da água de saída do condensador 45°C; temp. ar ambiente 7°CBS, 6°CBS; norma: Eurovent
			Aquecimento: temp. da água de entrada do condensador 40°C; temp. da água de saída do condensador 45°C; temp. ar ambiente 7°CBS, 6°CBS (= compressores de entrada de potência ventiladores circuito eléctrico); norma: Eurovent
			Tensão do circuito de controlo: CA (fornecido por transformadores instalados na fábrica)
			Corrente de arranque máxima = corrente de funcionamento máxima de 4 ventiladores corrente de funcionamento máxima de 3 compressores corrente de arranque de 1 compressor
			Consulte o esquema separado para conhecer os limites de funcionamento

Anexo V

